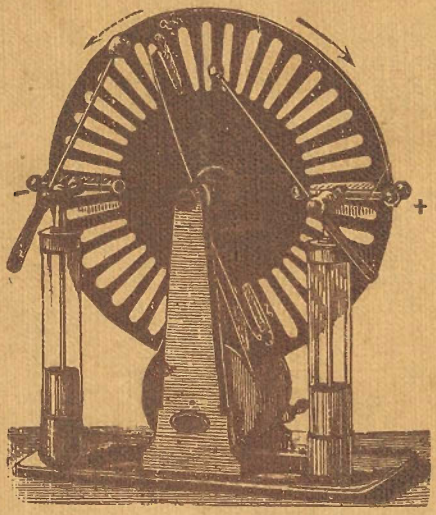
Ing. Bar. GIACOMO OLIVA
INGEGNERE ELETTRICISTA

L'Elettricità alla portata di tutti

MACCHINE

2ª edizione riveduta ed ampliata



LIBRERIA EDITRICE BIDERI
Napoli S. Pietro a Majella, 17
1911

L'Elettricità

alla portata di tutti

Ing. Bar. GIACOMO OLIVA
INGEGNERE ELETTRICISTA

L'Elettricità
alla portata di tutti

MACCHINE

Seconda Edizione

NAPOLI
FERDINANDO BIDERI, EDITORE
Via S. Pietro a Majella, 17
1909

Proprietà letteraria riservata

TIPOGRAFIA EDITRICE BIDERI - *S. Pietro a Majella, 17* - NAPOLI

PARTE PRIMA

—

Macchine elettrostatiche

Capitolo I.

Macchine a strofinio

Sfregando fra loro due corpi di natura diversa, oltre all'inevitabile produzione di calore, si dà vita a una nuova forma di energia che porta il nome di energia elettrica.

Questa energia resta allo stato potenziale sia nei corpi cattivi conduttori della elettricità, che nei buoni conduttori, quando, però, questi ultimi sono isolati dal suolo.

La elettricità, prodottasi, resta allo stato di equilibrio, cioè non si muove, e per tale ragione, vedemmo, prende il nome di elettricità STATICA.

La elettricità statica riceve diverse applicazioni sia sotto tale forma, sia nel momento che passa allo stato di elettricità *dinamica*, trasformando la energia potenziale accumulata nel momento della trasformazione della energia meccanica in elettrica, in energia cinetica o di movimento.

Nei primi tempi la elettricità statica si produceva, appunto, con lo sfregamento di corpi eteronimi, ma, anche in tempi remoti, si cercò di ottenerla con mezzi più pratici e più industriali, per ottenere una produzione rilevante con minima spesa, e a questo requisito rispondono le

MACCHINE ELETTROSTATICHE, le quali servono, appunto, alla trasformazione dell'energia meccanica in energia elettrica.

Le macchine elettrostatiche, basate sull'azione di sfregamento sono antichissime, però, al giorno di oggi, sono quasi completamente disusate, perchè non perfettamente industriali, e sono state sostituite dalle macchine ELETTROSTATICHE AD INFLUENZA, perchè queste possono produrre potenziali molto più elevati e con maggiore facilità.

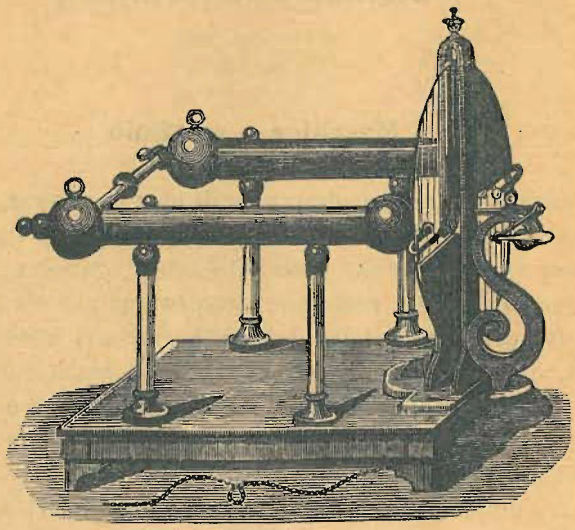


Fig. 1.

La macchina elettrostatica più antica rimonta all'epoca di Ottone di Guerick, che ottenne la prima poderosa scintilla elettrica sfregando con un panno di lana una sfera di zolfo, che egli, mediante una manovella, teneva in movimento rotatorio.

A questa tenne dietro immediatamente la macchina a disco, rappresentata dalla figura 1ª nella quale un disco di vetro è mantenuto in rotazione sia per mezzo di una

manovella, sia meglio di un motorino che gli conferisca una velocità più uniforme e contemporaneamente più forte.

L'asse, sul quale si muove il disco di vetro, deve essere isolato dal suolo, perchè, altrimenti, l'elettricità, che, in esso, mediante lo sfregamento, si produce, si disperde attraverso la terra e non può raccogliersi per gli scopi pei quali si vuole utilizzare.

Aderenti al disco di vetro sono due o più cuscinetti di crino rivestiti di pelle, che sono mantenuti a giusta pressione contro di esso da molle piane, perchè, nel girare del disco, si mantenga uno sfregamento continuo.

Girando il disco di vetro, questo, venendo sfregato dai cuscinetti di pelle, si elettrizza positivamente. Per aumentare l'effetto utile si ricopre la pelle di una sostanza pulverulenta, che comunemente è conosciuta sotto il nome di ORO MUSIVO, e non è altro che BISOLFURO DI STAGNO.

Il disco di vetro è abbracciato, verso la periferia, e secondo un diametro orizzontale, da due bracci di ottone ripiegati ad *u* e terminati da punte, che arrivano alla minima distanza possibile da esso; bracci di ottone, che si prolungano normalmente al piano del disco con cilindri cavi di ottone anche essi e, che, ordinariamente, terminano a forma di sfere.

Oltre alle punte, che si trovano di fronte al disco di vetro, in tutto il resto delle parti metalliche, debbono evitarsi assolutamente non solo le punte, ma anche gli angoli, arrotondando molto largamente tutto quello che può arieggiare ad angolo, perchè le punte e gli spigoli vivi, provocando un aumento molto forte della PRESSIONE O TENSIONE ELETTROSTATICA, scaricherebbero la elettricità, man mano che si determina.

Per la medesima ragione, tutta la parte conduttiva deve essere bene isolata dal suolo, ed ordinariamente si adoperano, a tale uopo, colonnine di vetro, che si ricoprono

di vernice, per impedire che l' umidità, distendendosi, come un sottile velo liquido, sul vetro, che è molto igrometrico, stabilisca una continuità conduttiva col suolo.

Girando la manovella, o mettendo in moto il motorino, il disco gira anche esso, e, per lo sfregamento continuo, che subisce contro i cuscinetti di vetro, si elettrizza positivamente, come or ora abbiamo visto, e induce elettricità negativa sulle punte affacciate ad esso, ed elettricità positiva nel resto del conduttore. Questo si fa cavo per la distribuzione superficiale che sappiamo seguire la elettricità in equilibrio, perchè facendolo pieno si avrebbe uno sciupo inutile di materiale, ed un considerevole aumento di peso e di prezzo senza nessun effetto utile diminuendosi, quindi, e di molto, il rendimento commerciale della macchina.

La elettricità negativa, che viene a sfuggire dalle punte si propaga all' aria circostante e diminuisce la carica positiva del disco di vetro, che, però, viene continuamente riportata al primitivo valore dalla rotazione continuata.

È, nella energia meccanica, che noi spendiamo per la rotazione, energia in più di quella che si spenderebbe se elettrizzazione non si verificasse, che si trova l'equivalente della energia elettrica che si produce. In fatti, quando la macchina comincia a funzionare si deve, a misura che aumenta la elettrizzazione del disco, spendere una energia sempre crescente, perchè, per far continuare la rotazione, bisogna vincere l' attrazione, che si manifesta fra le punte, che vanno caricandosi negativamente, per induzione, e il vetro affacciato ad esse, che è caricato positivamente; attrazione, che tende ad immobilizzare il disco.

Continuando il movimento, si aumenta la carica del conduttore cavo, e quindi se ne aumenta il potenziale fino al limite consentito dal potere isolante dei sostegni.

Continuando ancora il movimento, raggiunto questo limite, senza utilizzare la elettricità accumulatasi non si può ulteriormente aumentare il potenziale della macchina, perchè la elettricità, vincendo il potere isolante dei sostegni, o si disperde attraverso il suolo, o, vincendo la resistenza dell'aria, si scarica, sotto forma di scintilla, sui corpi conduttori, che si trovano in vicinanza.

Avviene lo stesso fenomeno che si manifesta quando si seguita a versare dell'acqua in un bicchiere già pieno: l'acqua, esuberante, si sversa dagli orli e cade al suolo. In questo caso vuol dire che è superato il valore della capacità elettrica della macchina che si considera, e che essa non può immagazzinare in sè altra energia oltre quella già posseduta.

Quando il potenziale del conduttore arriva a valori molto elevati, avvicinando ad esso la punta delle dita, le nocche della mano o un conduttore qualsiasi in comunicazione col suolo, scocca una scintilla, che rappresenta una corrente istantanea, che tende ad equilibrare i potenziali dei due corpi, che si trovano in vicinanza.

Le macchine elettrostatiche possono servire a caricare conduttori, condensatori, e a tutti gli scopi a cui la elettricità in equilibrio si utilizza.

Quando due corpi eterogenei si sfregano fra di loro si determinano contemporaneamente le due elettricità, la positiva cioè e la negativa: una su un corpo l'altro sull'altro. Per tale ragione, mentre sul disco di vetro si manifesta la elettricità positiva, sui cuscinetti si manifesta quella negativa, che va a disperdersi nel suolo, perchè, ordinariamente i cuscinetti, non si isolano dalla terra, e, anzi, ordinariamente, si stabilisce una migliore comunicazione col suolo, facendo da essi partire una catena metallica che termina a terra.

È evidente, però, che da una macchina simile noi pos-

siamo ricavare entrambe la elettricità, la positiva, cioè, e la negativa, se, invece di tenere in comunicazione col suolo i cuscinetti di cuoio, li isoliamo come sono isolati il disco di vetro e i conduttori metallici, e possiamo avere anche la sola elettricità negativa, se, mantenendo i cuscinetti isolati, mettiamo in comunicazione col suolo i conduttori metallici.

La macchina a strofinio ha avuto modificazioni varissime sia per la forma dei conduttori, che per il modo di isolamento, e per la costituzione della parte rotante, la quale, talvolta, è stata costituita da un cilindro di vetro rotante fra cuscinetti bene isolati dal suolo, per ottenere, facilmente, la elettricità negativa.

L'isolamento delle macchine elettrostatiche richiede la massima cura possibile; esse finiscono col non poter funzionare quando la giornata è umida, anche avendo la precauzione di coprire con vernice la parte isolante per impedire il depositarsi della umidità su di essa. Si ottiene, qualche volta, un funzionamento di tali macchine anche in giornate umide riscaldandole preventivamente e poggiandole su mattoni ben caldi per ottenere la evaporazione della umidità ad esse aderente.

È utile, perciò, tenere queste macchine, in locali molto asciutti, perchè, altrimenti, diventerebbe abituale la difficoltà del funzionamento. Deve anche provvedersi alla nettezza assoluta, per impedire il deposito su di esse del pulviscolo atmosferico, che, a sua volta, determinerebbe derivazioni conduttive al suolo per le particelle metalliche, che, ordinariamente, esso tiene in sospensione.

Nel far girare il disco, per non guastare le molle, che tengono fissi i cuscinetti contro di esso, bisogna aver cura di muovere la manovella sempre in un determinato senso; e, a tale uopo, i costruttori sogliano, mediante una freccia, indicare il senso del movimento che deve seguirsi,

perchè, altrimenti, le molle perdono la loro elasticità e non conservano la giusta pressione dei cuscinetti contro il disco di vetro; giusta pressione, che è necessaria per il regolare funzionamento, ossia per la continua produzione della energia elettrica.

RIASSUNTO

Le macchine elettrostatiche a strofinio trasformano la energia meccanica in energia elettrica. — La forma più comune è costituita da un disco di vetro, che gira fra cuscinetti di pelle coperti di bisolfuro di stagno, e, che, elettrizzandosi positivamente, elettrizza per induzione un conduttore, che si trova in vicinanza di esso. — Il disco e il conduttore debbono essere isolati dal suolo per impedire la dispersione in esso della elettricità. — Nel conduttore, tranne nei tubi a gomito affacciati al disco, debbono evitarsi le punte, gli angoli e gli spigoli vivi. — Da queste macchine può ottenersi elettricità positiva, negativa, o entrambe, isolando o solo i conduttori, o solo i cuscinetti o contemporaneamente gli uni e gli altri. — La umidità disturba ed impedisce, il più delle volte, il funzionamento delle macchine elettrostatiche, facendo disperdere nel suolo la elettricità, che si va man mano generando.

CAPITOLO II.

Macchine ad influenza

Le macchine elettrostatiche ad influenza, anche esse, trasformano la energia meccanica in elettrica, ma, invece di essere fondate sull'azione dello sfregamento, sono basate sul fenomeno della influenza o della induzione.

Il tipo fondamentale delle macchine ad influenza lo si riscontra nell' ELETTROFORO di Volta.

Una schiacciata di materia resinosa (formata per lo più di gomma lacca e di trementina veneziana) è contenuta in un recipiente metallico (fig. 2).

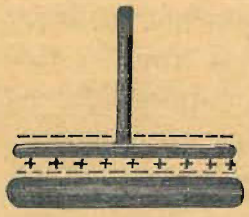


Fig. 2.

Un disco metallico, sostenuto da un manico isolante, costituisce il completamento della macchina elettrostatica ad influenza.

Per ottenere il funzionamento dell'ELETTROFORO, si poggia il disco metallico sulla schiacciata resinosa, dopo di aver elettrizzata negativamente quest'ultima battendola con pelle di gatto o con coda di volpe.

Il disco metallico, per quanto la schiacciata possa essere ben livellata, non prende mai un contatto perfetto con essa, ma, al massimo, vi si trova in contatto per tre punti, restando il resto della sua superficie completamente libera.

Il disco metallico si elettrizza negativamente, per contatto nei punti di contatto con la schiacciata. Gli altri punti del disco metallico, che non si trovano in contatto con la schiacciata, e che rappresentano la massima parte della superficie del disco metallico, si elettrizzano, per influenza od induzione, positivamente.

Una parte della carica positiva neutralizza la carica negativa determinatasi per contatto, e, sulla superficie inferiore del disco metallico, si trova tutta elettricità positiva, in valore, come carica, eguale alla differenza delle cariche positive indotte, e negative determinatasi per contatto.

Sulla faccia superiore si troverà tutta elettricità negativa determinatasi, ivi, per induzione.

Ciò premesso, se tocchiamo, con un dito, o con un conduttore in comunicazione col suolo, la faccia superiore del disco metallico, la carica negativa si disperde nel suolo; e, se, nel momento in cui togliamo il contatto con questo, allontaniamo il disco dalla schiacciata, quello si conserva elettrizzato tutto positivamente e noi possiamo da esso tirare delle scintille o caricare un corpo qualsiasi, immagazzinando in esso della energia elettrica.

Ripetendo diverse volte le medesime operazioni, noi possiamo immagazzinare una quantità rilevante di energia, la quale, a prima vista, potrebbe sembrare derivata dal nulla, perchè la schiacciata resta sempre pronta a funzionare nelle identiche condizioni della prima volta, conservando inalterata la sua elettrizzazione.

Se, però, noi consideriamo che la faccia inferiore del disco metallico è elettrizzata positivamente, mentre la schiacciata lo è negativamente, ci accorgiamo subito, che bisogna spendere, per distaccare il disco della schiacciata, un'energia tanto più forte di quella che si spenderebbe se i corpi non fossero elettrizzati, quanto più forte è la elettrizzazione della schiacciata. Ed è appunto a questo supero di energia, che si spende ad ogni elevamento del disco, che corrisponde la energia elettrica, che noi veniamo man mano a liberare o ad immagazzinare.

Sullo stesso principio sono basate le moderne macchine ad influenza, che rappresentano quanto di più perfetto la industria poteva sperare di produrre.

Immediatamente dopo l' ELETTROFORO del Volta viene il REPLENICHER O RICARICATORE di Thomson. Due calotte cilindriche *A* e *B* (fig. 3), a sezione circolare, sono disposte l'una di contro l'altra. In mezzo ad esse si muovono, con moto circolare, due contatti, metallici anche essi, *P* e *Q*, ma isolati l'uno dall'altro da un bastone coibente montato su un asse coibente anche esso ed individuato nella figura con la lettera *O*.

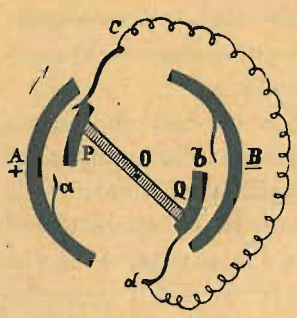


Fig. 3.

Due mollette metalliche *a* e *b* sono attaccate alle primitive calotte *A* e *B* e finalmente due mollette metalliche *c* e *d* si trovano verso i lembi delle calotte stesse, ma sono isolati da esse e riunite fra di loro mediante un conduttore.

Se si carica positivamente la calotta *A* e si porta il conduttore *P* in contatto con *c*, allora il conduttore *Q* verrà in contatto con *d*.

In tali condizioni si avrà un conduttore unico *P c d Q* sottoposto alla induzione esercitata dal conduttore *A*, e per tale effetto i punti più vicini, cioè la parte *P* si elettrizzerà negativamente e i punti più lontani, cioè la parte *Q*, si elettrizzerà positivamente.

Facendo girare la parte centrale, in modo che *P* si elevi, mentre *Q* si abbassi, appena i conduttori *P* e *Q* lasciano i contatti *c* e *d*, da una parte essi si sottraggono dalla influenza del conduttore inducente *A* e dall' altra non sono più riuniti dal conduttore esterno e quindi la cariche positive e negative, che su loro si erano determinate, non possono più neutralizzarsi e i due conduttori restano così carichi di elettricità di nome contrario.

Seguendo la rotazione il conduttore *P*, carico negativamente, viene in contatto con *b*, nello stesso tempo che il conduttore *Q*, carico positivamente, viene in contatto con *a* ed allora la calotta *B* si caricherà negativamente per contatto e la *A* aumenterà la carica positiva che aveva.

Continuando nella rotazione si avranno novellamente i fenomeni di induzione quando i conduttori *P* e *Q* verranno in contatto con *c* e *d*, perchè le azioni delle calotte *A* e *B* nella induzione su di essi sono concordanti ed in seguito per ogni mezzo giro si otterrà il rinforzamento delle cariche positive e negative nelle due calotte.

La energia elettrica, che si va accumulando nelle due calotte *A* e *B*, è l'equivalente del supero della energia meccanica, che bisogna spendere per vincere la repulsione, che si manifesta fra le cariche omonime dei due conduttori centrali e delle due calotte laterali quando esse si vanno avvicinando, fino al momento in cui avviene il contatto.

Naturalmente, a misura che si aumenta la quantità di elettricità, che si immagazzina nelle due calotte *A* e *B*, aumenta la energia meccanica, che bisogna spendere per la rotazione.

Le macchine ad influenza del Wimshurst dipendono direttamente dal ricaricatore del Thomson, del quale non sono che una razionale modifica.

Due dischi di ebanite, ricoperti lungo la periferia di striscioline di stagnola, sono mantenuti in rotazione in senso inverso sia per mezzo di una manovella che da un motorino. Secondo un diametro orizzontale sonvi due conduttori ripiegati ad *u* (fig. 4) che abbracciano i due dischi e che sono collegati a due aste metalliche terminate con delle sferette metalliche anche esse che possono mettersi in contatto o allontanarsi a distanze variabili, e che costitui-

scono quello che va conosciuto sotto il nome di SPINTEROMETRO; e finalmente due conduttori diametrali disposti ad angolo retto fra di loro ed inclinati rispetto al diametro orizzontale sono situati uno anteriormente ed uno posteriormente e terminano con fiocchi metallici che strisciano sui fogli di stagnola.

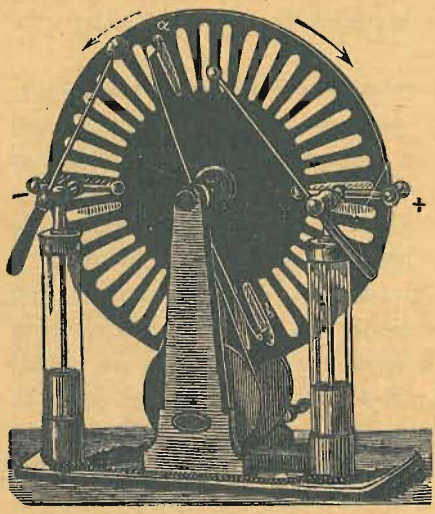


Fig. 4.

I due conduttori metallici, disposti ad angolo retto, rappresentano il conduttore esterno che collegava i due conduttori *P* e *Q* del RICARICATORE di Thomson; ciascuna coppia diametrale di striscioline metalliche rappresenta la coppia di conduttori *P* e *Q*; i due conduttori ad *u* rappresentano le due calotte metalliche *A* e *B* le quali vengono rinforzate di elettrizzazione, non più per contatto, come nel caso precedente, ma per induzione.

Supponiamo di aver caricata positivamente una strisciolina metallica del disco posteriore; quando essa arriva, per la rotazione del disco, innanzi alla strisciolina *a*, che trovasi sotto la spazzola del conduttore inclinato anteriore, induce elettricità negativa nella strisciolina *a* e positiva nella strisciolina *b*. Supponiamo che la rotazione del disco anteriore avvenga verso destra e quella del disco posteriore verso sinistra, nell' istante successivo le striscioline *a* e *b* avendo lasciato le spazzole, ed essendo ri-

maste isolate, resteranno la prima carica negativamente e la seconda positivamente. Continuando la rotazione, la prima indurrà elettricità di segno positivo sul conduttore a sinistra e la seconda elettricità negativa sul conduttore a destra e le due palline dello spinterometro, anche per induzione, saranno caricate rispettivamente di elettricità negativa e positiva.

Intanto, mentre il disco anteriore gira verso destra, il posteriore gira verso sinistra e quindi la strisciolina, che abbiamo considerata caricata direttamente di elettricità positiva, giunge innanzi al conduttore ad *u* di sinistra e lo elettrizza per induzione negativamente, cioè aumenta la carica che esso aveva ricevuto dal muoversi del disco anteriore.

Quello che si è detto per il disco anteriore si dica per il posteriore e per tutte le altre coppie di conduttori e si vede come, ad ogni rotazione, si ripete il fenomeno dell'aumento di carica dei conduttori affacciati ai due dischi per quante sono le striscioline conduttive dei due dischi che si considerano.

Anche qui la energia elettrica, che si genera, è l'equivalente della energia meccanica, che bisogna spendere in più per vincere le repulsioni, che si esercitano fra le cariche elettriche omonime, che, nella rotazione dei dischi, vanno continuamente avvicinandosi.

Per aumentare gli effetti utili di questa macchina, si aggiungono, ai due conduttori ad *u*, dei condensatori, che, scaricandosi, aumentano la energia che la macchina può rendere disponibile. Con queste macchine, che possono avere anche un numero maggiore di dischi giranti, si possono ottenere delle scintille potentissime, anche di lunghezza superiore ad un metro.

È strano, però, che, mentre questa macchina è una diretta derivazione del RICARICATORE del Thomson, non sia

stata inventata direttamente dopo di esso, ma sia stata preceduta dalla macchina di Holtz, molto meno poderosa di essa.

Nella macchina di Holtz vi è pure un disco di vetro fisso innanzi al quale si muove un altro disco di vetro anche esso: sul primo disco sono incollate due striscioline di carta che si elettrizzano e che elettrizzano il disco anteriore: questo, girando, trasporta le elettricità eteronime, di cui si caricano le sue due metà, sui due conduttori diametrali, nei quali vanno accumulandosi le cariche elettriche di nome contrario.

La macchina di Holtz, non solo non ha la potenzialità di quella di Wimshurst anche costruita con condensatori e con un numero rilevante di dischi, ma inoltre non funziona perfettamente nei giorni di umido pure essendo riscaldata preventivamente e ricoperta con uno strato di vernice per evitare il deposito dell'umidità.

RIASSUNTO

Le macchine elettrostatiche ad influenza trasformano l'energia meccanica in energia elettrica. — Esse sono basate sulla elettrizzazione di conduttori per induzione di corpi elettrizzati che loro si avvicinano. — Elettroforo di Volta. — Ricaricatore di Thomson. — Macchina di Wimschurst. — Macchina di Holtz.

PARTE SECONDA

—

Pile Idroelettriche

Capitolo I.

Teoria della pila

La pila idroelettrica, dovuta all'immortale genio di Alessandro Volta, è la prima macchina per ragione di tempo (fine del secolo XVIII), che permette di ottenere industrialmente la energia elettrica.

Appena conosciuto il nuovo generatore, sorsero lunghe polemiche, non ancora del tutto esaurite, per ricercare la vera teoria sulla quale il suo funzionamento era poggiato, e, fin dai primi momenti, in due campi distinti si divisero gli scienziati, nei sostenitori cioè della teoria del CONTATTO dovuta al Volta, e della teoria CHIMICA.

La teoria del contatto spiega la produzione della corrente elettrica per il contatto fra i corpi di diversa natura di cui la pila è costituita.

La teoria CHIMICA, invece, ritiene la produzione della corrente dovuta unicamente alle azioni chimiche: per essa la energia elettrica è l'equivalente della energia chimica dovuta alle reazioni fra i diversi corpi che costituiscono la pila.

La differenza che passa fra le due teorie, in poche parole, è la seguente: le reazioni chimiche sono effetto del

funzionamento della pila pei sostenitori della teoria del CONTATTO: sono invece la causa di tale funzionamento per i sostenitori della teoria CHIMICA (1).

---

(1) Il principio fondamentale della teoria del contatto è il seguente: Quando due corpi diversi sono in contatto, il potenziale, in essi, ha valori differenti, e tale differenza dipende solo dalla natura dei corpi, e più particolarmente dalla natura delle superficie in contatto, e non dipende per nulla dalla forma o dalla relativa posizione di esse, purchè si supponga costante ed uniforme la temperatura. In altri termini, la elettricità nella pila, in cui vi sono contatti di diversi corpi, liquidi e solidi, si determina per la diversità dei corpi che sono in contatto.

Pei metalli ed altri conduttori, detti di PRIMA CLASSE, cioè per conduttori non ELETTROLITICI, le forze elettromotrici di contatto dipendono dalla legge di Volta, che può enunciarsi in uno dei tre modi seguenti:

La differenza di potenziale fra due conduttori è la stessa sia che direttamente si tocchino. sia che comunichino per mezzo di una catena qualunque di conduttori di prima classe.

Oppure: *In un circuito chiuso, formato da conduttori di prima classe, si ha equilibrio elettrico e non corrente.*

O finalmente: *La forza elettromotrice di contatto fra due conduttori è uguale alla differenza fra quelle che si hanno accoppiando ciascuno di essi con un terzo qualunque*

In virtù di questa legge, il principio di Volta non conduce a conseguenze in contradizione col principio della conservazione della energia, e coloro, che ciò hanno asserito, non hanno tenuto conto del lavoro compiuto per condurre i due metalli alle attuali condizioni, partendo da quelle nelle quali le loro particelle si trovavano alla minima distanza possibile.

Volta ammise che il suo principio potesse applicarsi anche ai conduttori di SECONDA CLASSE cioè agli ELETTROLITI: però, la produzione di corrente in una COPPIA (intendendosi per COPPIA la riunione di due metalli diversi capace di dare corrente elettrica a circuito chiuso) ci fa vedere chiaramente che questo non avviene. E, mentre il Volta, dalle sue esperienze deduceva che le forze elettromotrici di contatto fra un conduttore di prima classe ed uno di seconda, o fra due conduttori di seconda classe, erano piccolissime in confronto a quelle, che si stabilivano fra due conduttori di prima classe, tanto da poterle trascurare e tener conto solo dell'ultima, i suoi seguaci, spingendosi più oltre, ammisero, incondizionatamente, che i conduttori di seconda clas-

Più recente e forse più convincente è la teoria OSMOTICA della pila messa innanzi dal Nernst. Per essa, quando un metallo è immerso in un liquido decomponibile dal pas-

---

se, nel loro reciproco contatto, o nel contatto con conduttori di prima classe, non generassero assolutamente forza elettromotrice, ma si comportassero puramente e semplicemente come dei semplici conduttori, atti a ridurre allo stesso potenziale i conduttori fra i quali essi si trovavano. Perciò, nelle discussioni sorte fra i sostenitori della teoria del contatto e fra quelli della teoria chimica, il nodo della questione stava nel determinare se esisteva oppur no una forza elettromotrice nel contatto fra i due metalli, e se essa era tale da render conto sostanzialmente ed essenzialmente degli effetti della pila.

Poichè, a circuito aperto, si riscontra fra gli elettrodi di questa una differenza di potenziale, e poichè, trovandosi la elettricità in equilibrio, gli elettrodi stessi ed il liquido debbono conservare, in ciascun punto delle loro superficie, lo stesso potenziale, perchè altrimenti si avrebbe corrente, bisogna assolutamente concludere che deve esistere una brusca variazione di potenziale, se non in tutte le superficie di contatto dei diversi conduttori, per lo meno in alcune sole di esse: e se si dimostra che essa non esiste al contatto fra i due metalli deve assolutamente ammettersi che si trovi in uno o in entrambi i contatti fra metallo e liquido e viceversa.

Si può, quindi, ammettere il principio di Volta in tutta la sua generalità, supponendo, cioè, che esista una forza elettromotrice in ogni contatto fra due diversi conduttori, salvo a spiegare come essa realmente abbia origine.

La teoria chimica della pila si fonda invece, unicamente, sulle azioni chimiche, che si manifestano tra i diversi corpi, che si trovano in presenza, cioè sulla trasformazione della energia chimica in energia elettrica.

Innumerevoli furono le esperienze fatte per combattere o per appoggiare l' una o l' altra teoria, però nessuna può dirsi che riuscì a battere in breccia quella che si combatteva o a solidalmente raffermare quella che si sosteneva; ed oggi che leggi della elettrolisi sono molto meglio conosciute, che non nei tempi andati, si vede che la teoria del contatto, applicata nel modo da noi esposto, e quella chimica, ben poco, o quasi per nulla, differiscono.

In fatti, noi abbiamo già detto, parlando appunto della elettrolisi, che la produzione della corrente in una pila è un fenomeno insepa-

saggio della corrente (ELETTROLITO), si staccano dal metallo particelle piccolissime di dimensioni di gran lunga inferiori agli ATOMI, e che portano il nome di IONI, come pure

---

rabile dalla elettrolisi, che nel liquido, che essa contiene, avviene: non è possibile quindi sostenere che l' azione chimica è causa della corrente, nè che questa è causa di quella.

E, per tale ragione, mentre anticamente i sostenitori della teoria chimica della pila affermavano, in modo indeterminato, che le azioni chimiche erano la causa prima della produzione della corrente elettrica, sono costretti ora a dire che i due fenomeni sono simultanei ed hanno per causa prima le forze di affinità chimica, e non le forze elettriche dovute a cariche di contatto.

Consideriamo una coppia a circuito chiuso formata da zinco (*Zn*) e rame (*Cu*), immersi in soluzione di Solfato di rame ($Cu\ SO_4$).

Quando i POLI della pila, cioè gli estremi degli ELETTRODI, sono collegati per mezzo di UN CONDUTTORE, cioè quando il CIRCUITO DELLA PILA È CHIUSO, ed essa fornisce una determinata INTENSITÀ di corrente, dipendente dalla forza elettromotrice che genera e dalla resistenza dell' intero circuito, l'elettricità è trasportata nel seno del liquido dagli IONI, cioè dagli ATOMI O GRUPPI ATOMICI elettrizzati, nei qnali si scindono le molecole del sale, come abbiamo visto per la teoria delle IONIZZAZIONE di Arrhenius.

Nel caso attuale, gli IONI sono il rame (*Cu*) ed il radicale acido (SO_4): il primo ha una carica positiva, che si avvia verso il rame della coppia e sul quale si deposita aumentandone lo spessore; il secondo ha una carica negativa, eguale in valore assoluto alla precedente, che si avvia verso lo zinco, ove forma solfato di Zinco ($Zn\ SO_4$). Queste cariche elettriche, trasportate dagli ioni, vengono, in tal modo, cedute agli elettrodi ed alimentano le corrente nel circuito esterno; mentre questa, nel circuito interno, è costituita dal trasporto degli ioni stessi.

Nel momento in cui si apre il circuito esterno, gli elettrodi restano carichi di elettricità di nome contrario e si trovano a potenziale eguale e di segno contrario, e cessa contemporaneamente l' elettrolisi e la corrente elettrica.

Vediamo come ragionano i fautori delle due teorie per spiegare ciò che abbiano visto manifestarsi nella pila che noi, or ora, abbiamo studiato.

I sostenitori della teoria del contatto fanno su per giù questo ragionamento. Per il contatto, esistente fra i due metalli rame (*Cu*) e

IONI si rendono liberi nel liquido. Questi ioni sono provvisti di cariche elettriche, e, per tale ragione, più propriamente, portano il nome di ELETTRONI. A seconda della di-

---

zinco (*Zn*), il rame acquista un potenziale negativo e lo zinco uno positivo: allora gli ioni positivi costituiti dal rame (*Cu*) si diriggono verso l' elettrodo rame, e quelli negativi costituiti dal radicale SO_4 si diviggono verso l' elettrodo zinco. La carica positiva, che i primi cedono al rame, che per sè stesso ha un potenziale negativo, e quella negativa che i secondi cedono allo zinco che ha un potenziale positivo, tenterebbero a scaricare i due elettrodi e a riportarne i potenziali al valore zero, ma siccome i due elettrodi sono sempre in contatto e nel contatto si genera sempre una forza elettromotrice, questa restituisce costantemente i potenziali delle due lastre al valore primitivo, e le cariche, che gli ioni hanno su di esse trasportate, non servono ad altro che a produrre la corrente che circola nel circuito esterno. Quando si interrompe il circuito esterno cessa la elettrolisi, cessa il trasporto degli ioni e i due elettrodi restano alla differenza di potenziale dovuta alla forza elettromotrice di contatto.

I fautori della teoria chimica, invece, fanno il ragionamento seguente Poichè l'affinità chimica fra zinco (*Zn*) e radicale SO_4 è più forte che non quella fra questo radicale ed il rame (*Cu*), non appena i due elettrodi sono immersi nella soluzione di Solfato di rame ($Cu\ SO_4$) gli ioni SO_4 cominciano a potarsi sullo zinco (*Zn*) cedendo a questo la loro carica negativa e formando Solfato di Zinco ($Zn\ SO_4$) e rendendo liberi sulla lastra di rame altrettanli ioni *Cu* che ad essa cedono la loro carica positiva.

I due elettrodi, così, si elettrizzano oppostamente e le loro cariche crescono fino a che le forze elettriche, dovute alle cariche stesse, e che tendono ad imprimere agli ioni un moto inverso, arrestano l'elettricità: ed allora si troverà ai poli della pila una differenza di potenziale.

Quando si chiudono i due poli della pila, mediante un conduttore, che viene chiamato CIRCUITO ESTERNO, la elottrolisi continua indefinitamente, mentre le cariche cedute dagli ioni, agli elettrodi, mantengono la corrente.

Quindi la differenza sostanziale fra le due teorie è semplicissima e si riduce a questo: secondo la teoria del contatto sono le forze elettriche, dovute alle cariche di contatto, che determinano l' elettrolisi, secondo la teoria chimica questa è dovuta alle forze di affinità chimica

versa natura dei liquidi e dei conduttori solidi in essi immersi si ha una diversa velocità e direzione degli elettroni positivi e negativi, e quindi una diversa intensità e direzione di corrente (1).

---

(1) Nessuna delle due teorie spiega completamente quanto avviene nella pila: più convincente risulta la recente TEORIA OSMOTICA DELLA PILA, proposta dal Prof. Nernst, la quale, pur rendendo conto della produzione della corrente, non si appoggia nè all' ipotesi del contatto nè a quella della affinità chimica.

La teoria osmotica della pila invece di fondarsi sulla teoria di GROTTUS si poggia su quella di ARRHENIUS; sulla ipotesi cioè che la separazione delle molecole in ioni non avvenga solo durante il passaggio delle corrente (teoria di Grottus), non avvenga spontaneamente e momentaneamenente in seguito a scambi incessanti di ioni fra le varie molecole (teoria di Clausius), ma avvenga continuamente perchè esistono in un elettrolito ioni liberi delle due specie, e in quantità tanto maggiore quanto più grande è la diluizione della soluzione.

La teoria osmotica del Nernst suppone ancora che quando un metallo è immerso in un elettrolito si stacchino da esso degli ioni, che rimangono nel liquido; ed allora per spiegare completamente quanto avviene nella pila, durante la generazione della corrente non resta che a considerare le diverse velocità di migrazione degli ioni che finora abbiamo considerati.

Per potere arrivare alla esposizione della teoria osmotica della pila bisogna premettere alcune considerazioni.

Supponiamo di avere una soluzione di zucchero nell' acqua molto diluita, separata da una soluzione di acqua pura da una membrana che sia permeabile per l'acqua e non per il corpo disciolto in essa. Le molecole dello zucchero, tendendo a diffondersi in ogni senso, premeranno sulla membrana che si rigonfierà e provocheranno di conseguenza un' aspirazione che farà penetrare l' acqua nella soluzione.

L' aumento di pressione dalla parte della soluzione porta il nome di PRESSIONE OSMOTICA, la quale è eguale alla pressione che le molecole di un gas, in numero eguale a quello delle molecole del corpo disciolto, eserciterebbero sulle pareti del recipiente contenente il gas, qualora il volume e la temperatura di questo fossero eguali al volume e alla temperatura della soluzione: in una parola il corpo sciolto si comporta esattamente come un gas perfetto e ne segue le stesse leggi.

RIASSUNTO

Due teorie, fino a pochi anni or sono, davano ragione della corrente generata dalle pile idroelet-

---

La teoria di Van' t Hoff sulle soluzioni poggiata su numerosissime esperienze, tutte concordanti, può riassumersi nelle seguenti conclusioni:

1° La pressione osmotica è proporzionale alla concentrazione, cioè al numero delle molecole di corpo sciolto, esistenti nell'unità di volume della soluzione.

2° La pressione osmotica è la stessa per soluzioni equimolecolari di corpi differenti (cioè per soluzioni contenenti, a pari volume, quantità di corpo sciolto proporzionali al rispettivo peso molecolare): essa quindi dipende dal numero, ma non dalla natura, delle molecole del corpo.

3° La pressione osmotica è proporzionale alla temperatura assoluta del corpo sciolto.

4° Il corpo sciolto si comporta esattamente come un gas perfetto, e ne segue le stesse leggi.

A questi fenomeni sono legati intimamente gli altri seguenti che si riscontrano nelle soluzioni diluite:

1° La pressione del vapore di una soluzione è, a parità di temperatura, minore di quella del solvente.

2° La temperatura di ebollizione della soluzione è più elevata di quella del solvente.

3° La temperatura di congelazione della soluzione è più bassa di quella del solvente.

4° In soluzioni diluite, fatte in un dato solvente e che siano equimolecolari, si hanno egual pressione osmotica, egual diminuzione relativa nella pressione del vapore, egual aumento nella temperatura di ebollizione ed eguale abbassamento in quella di congelazione.

La pressione osmotica, però, non mantiene il valore che dovrebbe avere secondo la teoria di Van' t Hoff quando la soluzione è suscettibile di elettrolisi, ma acquista un valore maggiore, e questo aumento di pressione osmotica è dovuto al fatto, che, quando la soluzione elettrolitica è sufficientemente diluita, si comporta come se contenesse un numero di molecole del corpo sciolto maggiore del numero di molecole realmente introdotto nella soluzione.

triche: quella del contatto e quella chimica. — La teoria del contatto suppone che quando due corpi eterogenei si trovano in contatto fra di essi si stabilisce una differenza di potenziale. — La teoria chimica suppone che la differenza di potenziale sia dovuta alle azioni chimiche che si manifestano fra i diversi corpi in contatto. — Le due teorie non differiscono sostanzialmente, perchè la elettrolisi, es-

---

Il corpo sciolto presenta, quindi, un comportamento simile a quello dei gas (come l' ipoazotite) che si dissociano col riscaldamento, e che sono dissociati interamente al disopra di una certa temperatura. Quindi è naturale supporre che le molecole del corpo disciolto, col crescere della diluizione, si dissocino sempre di più fino a che, a partire da un certo grado di diluizione, ognuna di esse si trovi divisa in due, tre o più particelle distinte che si comportano come le molecole di un gas e che non sono altre che gli ioni considerati dall'Arrhenius.

La diffusione degli ioni provoca la pressione osmotica; però gli ioni di diversa natura si diffondono con velocità diversa.

Consideriamo, ora, due soluzioni d'un medesimo sale a diverso grado di concentrazione: gli ioni della soluzione più concentrata si diffonderanno maggiormente nella soluzione più diluita, che non quelli di questa nella prima. E siccome gli ioni positivi si diffondono con velocità diversa di quelli negativi, in una delle due soluzioni ben presto si raccoglieranno più ioni positivi che negativi e viceversa: i due liquidi saranno, quindi, oppostamente elettrizzati e la differenza di potenziale andrà crescendo fino a che le forze elettriche, che tendonono ad opporsi al descritto fenomeno osmotico, non giungono ad arrestarli. Per ottenere uno stato di regime bisogna mantenere costante il titolo delle due soluzioni.

Lo stesso dicasi se i due liquidi sono di natura differente. Immergendo un conduttore metallico con gli estremi nei due liquidi, si annulleranno le forze elettriche, che impedivano l'ulteriore separazione degli ioni positivi dai negativi, e questa separazione continuerà e manterrà nel conduttore che collega i due liquidi una corrente elettrica.

Però, quando un metallo è immerso nel liquido, bisogna ammettere col Nernst che dal metallo partano degli ioni metallici liberi per dif-

sendo un fenomeno inseparabile dalla produzione della corrente, non può dirsi che l' una sia causa dell'altra piuttosto che l'inverso. — La teoria osmotica della pila è fondata sulla emissione di ioni metallici quando si immergono gli elettrodi nell'elettrolito e sulla migrazione degli ioni dell'elettrolito: ioni liberati in tanto maggiore quantità quanto più spinta è la diluizione della soluzione. — La teoria

---

fondersi nel liquido nel quale e immerso, cosa che provocherà una differenza di potenziale fra il metallo ed il liquido. Questa emissione di ioni metallici si può paragonare all'evaporazione di un liquido in un vaso chiuso, la quale cessa appena il vapore, formatosi, ha raggiunto una certa pressione e si può dire che i metalli posseggano una TENSIONE DI SOLUZIONE come i liquidi posseggono una TENSIONE DI VAPORE; e questa tensione di soluzione è misurata dalla pressione osmotica prodotta dagli ioni metallici diffusi nell'elettrolito.

Dato ragione della differenza di potenziale fra due liquidi e fra un liquido ed un metallo, si comprende come si forma la differenza di potenziale ai poli di una coppia voltaica, e come, a circuito chiuso, ne derivi una corrente; tutto dipende dalle varie velocità con cui gli ioni si diffondono da un corpo in un altro e quindi dalle rispettive pressioni osmotiche.

Non si può dire che la teoria osmotica escluda l' esistenza di una forza elettromotrice di contatto fra metalli diversi, anzi questa potrebbe spiegarsi con la diversità di tensione di soluzione propria di essi, essendosi già constatato la produzione della elettrolisi anche in corpi solidi come ad esempio nel vetro a temperatura poco superiore alla ordinaria: in appoggio a questo modo di vedere si può anche citare la lenta diffusione di un sottile strato metalico, in tutta la massa di un altro metallo sul quale quello strato fu deposto per via di elettrolisi.

E quindi la teoria osmotica della pila rende in modo semplice ragione dei fenomeni che avvengono in questa nuova sorgente di energia elettrica, senza urtare contro i principii generalmente accettati e senza lasciare nella mente alcun dubbio od alcuna riserva sulla sua applicabilità.

osmotica della pila, dovuta al Nernst, non esclude la esistenza di una forza elettromotrice di contatto fra metalli diversi, anzi questa potrebbe spiegarsi con la diversa tensione di soluzione propria di essi, essendosi riscontrato produzione di elettrolisi anche in corpi solidi come nel vetro a temperatura poco superiore alla ordinaria.

Capitolo II.

Generalità sulle pile idroelettriche. Accoppiamenti delle pile

Appena si immergono due conduttori in un elettrolito, si stabilisce la polarizzazione dei conduttori stessi, in modo che essi si trovano carichi di elettricità di nome contrario, uno cioè risulta elettrizzato positivamente e l'altro negativamente. Si riscontra, poi, sempre elettrizzato negativamente il metallo che viene maggiormente attaccato dalla soluzione.

I tre conduttori, che costituiscono le pile, cioè i due metalli e l'elettrolito, trovansi a diverso potenziale, e se non esistesse la forza elettromotrice quando il circuito della pila è aperto, si avrebbe una corrente elettrica, attraverso i conduttori considerati, che, dal polo positivo, andrebbe verso il polo negativo e che tenderebbe ad eguagliare i potenziali dei diversi conduttori in contatto.

Siccome questa eguaglianza, a circuito aperto, non la si ottiene mai, ed invece la differenza di potenziale ai poli della pila si mantiene costante, vuol dire che la forza elettromotrice, nell' interno della pila, agisce in senso inverso della differenza di potenziale e tende a stabilire una

corrente inversa, distruggendo gli effetti di quella che or ora abbiamo considerata.

Quindi la forza elettromotrice e la differenza di potenziale, in una pila idroelettrica a circuito esterno aperto, sono due quantità eguali ma di segno contrario i cui effetti si equilibrano.

Quando, invece, si chiude il circuito esterno, l'equilibrio fra forza elettromotrice e differenza di potenziale più non esiste, questa si abbassa per la energia che si perde per effetto *joule* nell' interno della pila e la forza elettromotrice, avendo il sopravvento, provoca una corrente che, tanto nell' interno quanto all' esterno, circola in senso continuo, andando dal polo positivo al negativo nel circuito esterno, e continuando dal negativo al positivo nel circuito interno.

Naturalmente, è evidente, che, mentre la corrente tenderebbe ad equilibrare la differenza di potenziale fra le diverse parti conduttive dell' intero circuito, la forza elettromotrice, agendo sempre nel medesimo senso per la continua migrazione degli ioni positivi e negativi, ristabilisce continuamente il disquilibrio elettrico, che tenderebbe a sparire.

Allorchè vuolsi avere a disposizione una energia elettrica maggiore di quella che un solo ELEMENTO DI PILA può dare (intendendosi per ELEMENTO l'assieme di una COPPIA capace di generare una determinata forza elettromotrice) si possono riunire assieme diversi elementi e costituire quella che va conosciuto sotto il nome di BATTERIA DI PILE.

Le pile, però, possono accoppiarsi, per costituire una batteria, in modo diverso, a secondo che si debbono adoperare per uno scopo piuttosto che per un altro, e vedremo, dalle conclusioni che ricaveremo dai diversi accoppiamenti, in quali casi si debba preferire uno piuttosto che un altro.

Gli accoppiamenti delle pile possono ridursi a tre: ACCOPPIAMENTO IN SERIE, ACCOPPIAMENTO IN PARALLELO e ACCOPPIAMENTO MISTO.

L'ACCOPPIAMENTO IN SERIE, detto anche in TENSIONE, si ha quando le pile sono messe l'una dopo l'altra, riunendo il polo negativo del primo elemento al positivo del secondo, il negativo del secondo al positivo del terzo, e così via via, in modo che i poli liberi della batteria risultano il polo positivo del primo elemento ed il polo negativo dell'ultimo.

L'ACCOPPIAMENTO IN PARALLELO O IN DERIVAZIONE o anche IN QUANTITÀ si ha quando sono riuniti assieme da una parte tutti i poli positivi di tutti gli elementi della batteria e dall'altra tutti i poli negativi, in modo che i poli liberi sono presi dai due conduttori che congiungono i primi fra di loro ed i secondi fra di loro.

L'ACCOPPIAMENTO MISTO si ha quando si riuniscono in parallelo diverse batterie i cui elementi sono riuniti in serie.

Ciò premesso esaminiamo le particolarità dei vari collegamenti.

Supponiamo di avere diversi elementi riuniti in serie, e supponiamo che il polo negativo del primo elemento sia collegato col suolo, ed il positivo sia collegato al negativo del secondo elemento, il positivo del secondo al negativo del terzo e così via, e supponiamo che il circuito della batteria sia aperto. L'essere in comunicazione col suolo uno degli estremi, quando la batteria è completamente isolata da esso, non permette dispersione della corrente, perchè questa non troverebbe alcuna via per rinchiudere il circuito.

L'essere il polo negativo della prima batteria in contatto col suolo, e l'essere contemporaneamente l'elettricità in equilibrio, fa sì che l'elettrodo negativo si trovi tutto

al potenziale zero, se noi supponiamo, come generalmente per convenzione si assume, il potenziale della terra avere il valore zero. Se, dunque, ogni elemento di pila è capace di produrre la forza elettromotrice *e*, essendo la forza elettromotrice a circuito aperto eguale e di segno contrario alla differenza di potenziale, e, trovandosi uno dei due elettrodi al potenziale zero, l'altro deve trovarsi al potenziale *e*. Ma l'elettrodo positivo del primo elemento è unito metallicamente a quello negativo del secondo, ed entrambi, per tale ragione, costituiscono un unico conduttore, su cui, trovandosi l'elettricità in equilibrio, deve riscontrarsi in tutti i punti lo stesso potenziale, dunque anche l'elettrodo negativo del secondo elemento deve acquistare il potenziale *e*.

L'elettrodo positivo del secondo elemento, dovendo presentare rispetto al negativo dello stesso elemento la differenza di potenziale *e*, supponendo gli elementi della medesima specie, deve perciò trovarsi al potenziale $2e$, e, ragionando identicamente, si deduce che l'ettrodo positivo del terzo avrà il potenziale $3e$, quello del quarto $4e$, e, così quello dell'elemento ennesimo il potenziale ne. Da ciò si vede che la forza elettromotrice, eguale alla differenza di potenziale a circuito aperto, agli estremi di una batteria di pile riunite in serie, è eguale alla somma delle forze elettromotrici dei singoli elementi, perchè lo stesso ragionamento si può ripetere identicamente se le forze elettromotrici non sono identiche ma sono diverse l'una dall'altra, trattandosi di elementi di natura diversa.

Per quanto riguarda l'intensità, gli elementi, essendo riuniti in serie, quando si chiude il circuito esterno non potranno dare che la intensità che ciascuno di essi può dare, perchè questa, in un circuito unico, deve essere eguale in tutti i punti di esso, altrimenti verrebbesi a disconoscere la legge della conservazione della

energia (1); allo stesso modo che in un canale di acqua in tutti i punti la portata è identica, se non avvengono lungo il percorso erogazioni.

Nella riunione IN PARALLELO, essendo tutti gli elettrodi positivi riuniti fra di loro ed egualmente riuniti fra di loro tutti i negativi, i primi si troveranno tutti ad un medesimo potenziale e i secondi avranno pure tutti il medesimo potenziale: la batteria, quindi, avrà la differenza di potenziale eguale a quella di un solo elemento.

Per quanto riguarda l'intensità, però, le cose vanno un po' diversamente. La intensità, che può dare una batteria, dipende dalla resistenza interna della batteria stessa, perchè, data una determinata resistenza interna, la massima intensità, che essa può erogare, è quella dipendente dalla legge di Ohm, applicata al caso in cui la batteria stessa è chiusa in corto circuito, ossia eguale al quoziente della differenza di potenziale per la resistenza interna, valore, che, in pratica, non può mai raggiungersi, perchè, chiudendo in corto circuito una pila si viene a fare erogare ad essa una intensità di gran lunga superiore a quella che le condizioni sue di costruzione permettono di erogare, e quindi si viene a rendere inservibile la pila per il deterioramento, che si produce in seguito a tale forte erogazione di corrente.

Ma i diversi elementi sono riuniti fra loro in parallelo, o in derivazione e agli estremi comuni di questi circuiti

---

(1) In una batteria di pile riunite in serie si ha, quindi, che la forza elettromotrice E disponibile è data dalla relazione

$$E = \Sigma e$$

indicandosi con Σe la somma delle singole forze elettromotrici: e la intensità I è data da

$$I = i$$

indicandosi con i la intensità che può dare un solo elemento.

derivati si attacca il circuito di utilizzazione, e, per tale ragione, in esso vanno a raccogliersi, sommandosi fra di loro, tutte le singole intensità di ciascun elemento, allo stesso modo che la portata di un condotto unico, nel quale vengono a sgorgare vari condotti è eguale alla somma delle portate dei singoli condotti.

Per tale ragione, convincentissima, la intensità, che può ottenersi da una batteria di pile, riunite in parallelo, è eguale alla somma delle intensità dei singoli elementi che la costituiscono (1).

Da quanto si è detto risulta evidente che, a secondo che si ha bisogno di un'elevata differenza di potenziale ai poli della batteria o di una elevata intensità nel circuito esterno, si adopererà la riunione in serie o quella in parallelo.

Però gli elementi della batteria si possono riunire anche in un altro modo, cioè accoppiando diversi elementi in serie in modo da costituire diverse batterie, le quali, poi, alla lor volta, vengono riunite in parallelo. È chiaro che in tal caso la forza elettromotrice disponibile è quella dovuta alla somma delle forze elettromotrici di una batteria elementare e la intensità è eguale alla somma delle intensità delle diverse batterie (2).

---

(1) In una batteria di pile riunite in parallelo si ha, quindi, una forza elettromotrice E eguale alla forza elettromotrice di un solo elemento e cioè:

$$E = e$$

e una intensità

$$I = \Sigma i$$

in cui Σi indica la somma delle intensità dei singoli elementi.

(2) Le formole che danno la indicazione di quanto si è detto sono le seguenti: per la forza elettromotrice

$$E = \Sigma e$$

Questa riunione porta il nome di RIUNIONE MISTA, ed in essa le singole batterie debbono avere disponibili ai loro poli la medesima differenza di potenziale.

Secondo lo scopo, a cui devesi far servire una batteria, è conveniente adottare una riunione piuttosto che un'altra, e, naturalmente, per ciascun caso, vi è una riunione che dà il massimo effetto utile, ma di ciò parleremo in modo esauriente, quando tratteremo degli impianti elettrici.

Tanto ai poli di una batteria quanto di un singolo elemento, gli elettrodi estremi hanno un potenziale identico come valore, ma di segno contrario. Per brevità di discussione esamineremo il caso di un singolo elemento, ma quello che diremo potrà estendersi parola per parola ad una batteria di un numero qualsiasi di elementi.

Supponiamo di avere un elemento costituito da due elettrodi il positivo di rame (Cu) ed il negativo di zinco (Zn), immersi in una soluzione di acido solforico ($H_2\ SO_4$) e di avere, d'altra parte, un arco metallico che abbia il punto centrale in comunicazione col suolo.

Se noi tocchiamo con uno degli estremi dell'arco metallico lo zinco della pila, siccome supponiamo questa a circuito aperto, ma perfettamente isolata dal suolo, in modo da non permettere la chiusura del circuito attraverso di esso, lo zinco, venuto in contatto col suolo, si porta al potenziale zero ed il rame al potenziale e, che quella pila può dare; cioè si avrà:

Zinco	Rame
o	$+\ e$

---

in cui per Σe si intende la somma delle forze elettromotrici dei diversi elementi riuniti in serie; e per la intensità:

$$I = \Sigma i$$

in cui per Σi si intende la somma delle intensità delle diverse batterie elementari.

Se togliamo la comunicazione dello zinco col suolo e la stabiliamo invece col rame, mediante il contatto con l'altro estremo dell'arco metallico, sarà il rame che assumerà il potenziale zero, e lo zinco, dovendo trovarsi ad un potenziale inferiore, e dovendo dare come differenza di potenziale col rame il valore *e*, assumerà il potenziale — *e*; cioè si avrà

Zinco	Rame
— *e*	*o*.

Supponiamo ora di portare alternativamente i due estremi dell'arco in contatto una volta con lo zinco ed una volta col rame, avremo, che, nelle successive alternative, il potenziale dello zinco oscillerà fra i valori *zero* e — *e*, e quello del rame fra *zero* e + *e*; cioè avremo

Zinco	Rame
o	+ *e*
— *e*	*o*

Se andiamo man mano aumentando la rapidità con la quale facciamo avvenire gli scambi dei contatti, aumenta contemporaneamente la rapidità delle oscillazioni dei potenziali dei due elettrodi fra i valori estremi ora considerati, e se questa rapidità è tale in modo che non ancora si è lasciato il contatto con lo zinco che già si è ottenuto il contatto col rame e viceversa, da una parte possiamo ritenere che il circuito della pila resti costantemente chiuso attraverso l'arco metallico, e dall'altra che la rapidità delle oscillazioni dei potenziali è talmente alta che non si arrivino mai a raggiungere i valori estremi ma il potenziale acquisti un valore medio fra i due, come avviene quando, dando impulsi contrari, ad intervalli rapidissimi, ad un medesimo corpo, questo resta immobile in una posizione di equilibrio intermedia fra le posizioni

estreme che avrebbe raggiunte se avesse potuto sottostare ad un solo degli impulsi Ed allora i potenziali dei due elettrodi saranno i seguenti

Zinco $\frac{o - e}{2} = - \frac{e}{2}$ Rame $\frac{+ e - o}{2} = + \frac{e}{2}$

ossia saranno eguali e di segno contrario.

L' aver chiuso il circuito attraverso un arco, comunicante per un punto con il suolo, non significa avere apportata alcuna variazione nel comportamento reale nè della pila nè del circuito esterno di essa; perchè quel contatto col suolo fa sì che in quel punto dell' arco si abbia il potenziale zero, e noi, per la conclusione, alla quale siamo arrivati, dei due potenziali eguali ma di segno contrario negli elettrodi della pila, dobbiamo necessariamente trovare in un punto del circuito esterno, come pure in un punto di quello interno, il potenziale zero.

Infatti il potenziale è una funzione continua; esso non può variare per salti, ma deve variare per successivi e graduali aumenti o diminuzioni, ed allora, per passare da un valore positivo ad un valore eguale ma negativo, deve, assolutamente, passare per lo zero; e siccome dal polo positivo al negativo si può andare sia attraverso il circuito esterno che attraverso l' interno, così dobbiamo trovare, in entrambi i circuiti, un punto che abbia il potenziale zero.

L'unica cosa, che avviene col contatto di un punto del circuito esterno col suolo, è che si stabilisce il punto che deve avere il potenziale zero, facendo variare, nei due tratti a sinistra ed a destra di esso, la distribuzione dei potenziali a seconda che si sposta quel punto lungo l'arco, che si è considerato, ma non si produce nessun fenomeno che nella realtà del funzionamento della pila non avviene.

RIASSUNTO

La forza elettromotrice di una pila è eguale e di segno contrario alla differenza di potenziale quando essa si trova a circuito aperto. — A circuito chiuso la differenza di potenziale ai poli della pila si abbassa proporzionalmente alla corrente, che essa eroga, per effetto della energia che si perde pel fenomeno joule nel suo interno.

Una batteria di pile è la riunione di diversi elementi variamente aggruppati.

Gli elementi possono riunirsi in tre modi: 1° in serie, ossia riunendo il negativo del primo elemento al positivo del secondo, il negativo del secondo al positivo del terzo e così via: 2° in derivazione, riunendo tutti i positivi fra di loro, e tutti i negativi fra di loro: 3° in unione mista, riunendo in parallelo diverse batterie di elementi raggruppati in serie. — Nell'aggruppamento in serie la forza elettromotrice è eguale alla somma delle forze elettromotrici dei singoli elementi, e l'intensità è quella che può dare un solo elemento. — Nell'aggruppamento in derivazione la forza elettromotrice è quella che può dare un solo elemento e la intensità è la somma delle intensità che possono fornire i singoli elementi. — Nell'aggruppamento misto la forza elettromotrice è quella data dalle singole batterie in serie, e la intensità è la somma delle intensità che

possono erogare le singole batterie. — Gli elettrodi di un elemento, o quelli estremi di una batteria si trovano a potenziali eguali ma di segno contrario. — Vi sono due punti del circuito che si trovano al potenziale zero: uno nel circuito esterno ed uno nel circuito interno.

CAPITOLO III.

Polarizzazione degli elementi Depolarizzazione

Supponiamo di avere una pila costituita da due elettrodi, uno di zinco (Zn) e l'altro di rame (Cu), immersi in un elettrolito costituito da acqua acidulata con acido solforico (H_2SO_4).

Le reazioni chimiche, che avvengono nel funzionamento della pila, ora considerata, sono le seguenti: l'acido solforico (H_2SO_4) si scinde negli ioni idrogeno H_2 ed SO_4; quest' ultimo, portandosi sul polo negativo, forma solfato di zinco ($ZnSO_4$) e l' idrogeno si sviluppa sull' elettrodo positivo riducendolo allo stato di zinco metallico ove esso si trovasse ossidato, o sprigionandosi allo stato libero ove questa ossidazione non esista. Una parte di idrogeno finisce col rimanere aderente all'elettrodo stesso rinchiudendolo quasi in una guaina gassosa, che tende a generare una corrente di senso contrario alla principale, e che viene conosciuta col nome di CORRENTE SECONDARIA o di POLARIZZAZIONE, che, se non arriva a distruggere completamente la corrente principale, ne abbassa enormemente la intensità, per modo che, dopo brevissimo tempo, la pila darebbe, se non si cercasse qualche rimedio per evitare l' inconveniente, una corrente talmente debole, che non potrebbe

più servire per gli scopi per i quali la pila stessa deve funzionare.

Che questa diminuzione di corrente sia proprio dovuta ad una corrente di senso contrario alla principale, che si determina nell' interno della pila, possiamo riconoscerlo sperimentalmente adoperando la pila che or ora abbiamo considerata e aspettando che la diminuzione di corrente si sia verificata, e sostituendo, in seguito, all' elettrodo zinco un elettrodo di rame anch'esso e chiudendo il circuito attraverso un galvanometro. Ciò fatto non dovremmo avere nessuna corrente perchè abbiamo due elettrodi del medesimo metallo immersi In una soluzione che non li attacca, eppure, noi abbiamo una corrente di senso contrario a quella che prima veniva fornita dalla pila, e che va mano mano diminuendo di intensità, a misura che sparisce la guaina di idrogeno costituitasi attorno al rame, e finisce col cessare quando quella è completamente sparita. Questa corrente, che raccogliamo durante tale esperimento, è appunto quella che determina la diminuzione della corrente che la pila può fornire.

Per eliminare un tale inconveniente, che renderebbe industrialmente inapplicabile le pile, bisogna, dunque, cercare di far sparire o di impedire la formazione dell'idrogeno sullo elettrodo positivo, e siccome il fenomeno, che or ora abbiamo considerato, va conosciuto sotto il nome di POLARIZZAZIONE, sono chiamati DEPOLARIZZANTI quelle sostanze, che servono ad impedirne la formazione, e DEPOLARIZZAZIONE il fenomeno che si manifesta.

La DEPOLARIZZAZIONE si può avere o con mezzi meccanici o con mezzi chimici: questi, però, hanno la preferenza su quelli, perchè mentre i primi cercano di espellere l'idrogeno dalla superficie dell'elettrodo positivo, facendolo sviluppare nell'atmosfera, i secondi impediscono addirittura che questo idrogeno possa svilupparsi sull' elettrodo po-

sitivo, determinando delle reazioni chimiche nelle quali esso viene a combinarsi con corpi che ne sono avidi e che ne impediscono, quindi, il libero svolgimento.

I mezzi meccanici si riducono a due o all'adozione di un elettrodo positivo di materia molto porosa, e che presenti quindi molte punte in modo che risulti difficilissima l'aderenza dell'idrogeno su di esse e quindi ne determini la espulsione nell'atmosfera a misura che si forma, ed un esempio ci è dato dall'elettrodo di argento ricoperto da uno strato pulverulento di platino (pila Smée), o all'adozione di un elettrodo a superficie circolare per metà immerso nell'elettrolito e girante lentamente intorno al centro, per cui l'idrogeno sviluppato su di esso viene ad essere espulso nell'atmosfera quando, col girare del disco, viene ad emergere dalla soluzione la parte sulla quale si era depositato.

Si può anche, come nell'elemento Wollaston, adoperare una lamina positiva di superficie molto ampia, che circonda l'elettrodo negativo, per rendere meno facile il rivestimento di tutta la superficie con la guaina d'idrogeno.

Questi mezzi, però, oggi giorno, sono completamente messi in disuso sia perchè troppo incerti, sia perchè non rispondono in tutto allo scopo per cui essi venivano adoperati.

I depolarizzanti chimici producono un effetto molto più sicuro e molto più regolare: essi possono dividersi in due grandi categorie, depolarizzanti solidi e depolarizzanti liquidi, entrambi, però, mentre eliminano l'inconveniente della diminuzione della forza elettromotrice, fanno aumentare la resistenza interna delle pile obbligando all'adozione di un vaso poroso per la separazione dell'elettrolito dal liquido depolarizzante o dal conglomerato solido attorno all'elettrodo positivo e producono, perciò, certa-

mente un aumento della resistenza che si oppone al propagarsi della corrente.

Però fra la diminuzione della forza elettromotrice in modo che la pila non possa adoperarsi industrialmente, e la diminuzione dell'intensità, dovuta all'aumentata resistenza interna, si sceglie certamente l'inconveniente minore, e che non rende proibitiva l'adozione della pila.

Oltre ai depolarizzanti solidi, possono adoperarsi anche depolarizzanti gassosi, che furono proposti dal Grove e dall'Uppward. Le pile fondate su questo principio, sono formati da due elettrodi metallici contenenti ciascuno un gas occluso ed immersi in un liquido conduttore. Esse però non hanno dato buoni risultati, specialmente perchè si esauriscono rapidamente, a causa che solo i gas occlusi possono agire, e l'occlusione è assai lenta rispetto al consumo.

Il Daniel fu il primo che ricorse all'azione del solfato di rame come liquido depolarizzante, e diede alla industria quella pila che va conosciuta sotto il nome di PILA DANIEL da cui tante altre, mediante semplici modificazioni, sono derivate.

PILA DANIEL — Un grosso bicchiere di vetro è riempito di acqua con acido solforico (nelle proporzioni di 7 parti e mezzo di acqua ed una di acido solforico); in esso pesca un cilindro di zinco spaccato longitudinalmente secondo una generatrice; esso ha una sezione circolare, poco più piccola della sezione interna del bicchiere. Nella parte centrale è immerso un vaso poroso di terra cotta, che permette lo scambio dei liquidi per azioni osmotiche, riempito da una soluzione satura di solfato di rame in cui è immerso un cilindro di rame.

Le reazioni chimiche che avvengono in questa pila sono le seguenti: l'acido solforico ($H_2 SO_4$), scisso nei due ioni H_2 ed SO_4, attacca con l'ione SO_4 lo zinco e forma sol-

fato di zinco ($Zn\ SO_4$), mentre l'ione idrogeno H_2 si porta, attraverso il vaso poroso verso l'elettrodo positivo. Ma anche nel vaso poroso la soluzione di solfato di rame ($Cu\ SO_4$) è stata scissa dalla corrente nei due ioni, rame (Cu) e radicale SO_4: l'idrogeno (H_2), incontrando il radicale SO_4, si unisce ad esso e forma acido solforico ($H_2\ SO_4$) mentre il rame si deposita sull'elettrodo positivo (1).

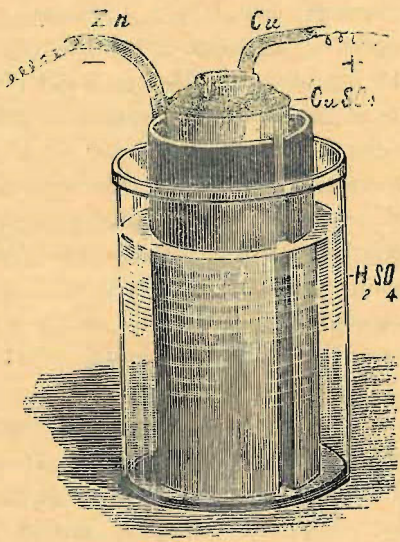


Fig. 5.

Da quanto si è detto si vede che non vi è più la possibilità che l'idrogeno si depositi sotto forma di guaina gossosa attorno all'elettrodo positivo, e quindi non può più manifestarsi la corrente di polarizzazione, che abbassa la forza elettromotrice, che la pila può dare. Però, studiando

---

(1) L'equazione chimica che dà ragione di queste azioni è la seguente:

$$\underset{\text{Zinco}}{2Zn} + \underset{\text{Acido solforico}}{2H_2SO_4} + \underset{\text{Solfato di rame}}{2CuSO_4} + \underset{\text{Rame}}{Cu} = \underset{\text{Zinco}}{Zn} +$$

$$+ \underset{\text{Solfato di zinco}}{ZnSO_4} + \underset{\text{Acido solforico}}{2H_2SO_4} + \underset{\text{Solfato di rame}}{CuSO_4} + \underset{\text{Rame}}{2Cu}$$

da cui si vede come il solfato di rame e diminuito di titolo ed il polo positivo è aumentato di spessore.

le reazioni, che avvengono, si vede, che, con l'andare del tempo, la soluzione di solfato di rame va perdendo la proprietà di essere satura, e se non si provvede al continuo rifornimento di esso, si finisce col trovare nel vaso poroso solo l'acido solforico, e la depolarizzazione cessa.

Provvedendo al continuo rifornimento, dopo diverso tempo, si troverà la pila equilibrata, cioè alla parte esterna del vaso poroso si avrà zinco immerso in solfato di zinco, e alla parte interna rame in solfato di rame, ed allora il funzionamento produce da una parte formazione di nuovo solfato di zinco a spese dell'elettrodo negativo, e dall'altra deposito di rame sull'elettrodo positivo a spese della soluzione di solfato di rame.

Per tale ragione nel vaso poroso si sogliono mettere dei cristalli di solfato di rame, che restituiscono la saturità alla soluzione a misura che essa va diminuendo.

La pila Daniel ha avuto diverse modificazioni per provvedere appunto al rifornimento del solfato di rame in modo continuo, e per eliminare il vaso poroso.

Così nell' ELEMENTO A PALLONE, un recipiente di vetro, a forma di pallone, è riempito di cristalli di solfato di rame ed è immerso capovolto nel vaso poroso. Quando la soluzione di solfato di rame si impoverisce, la parte che è diventata più povera, essendo più leggiera, sale nel collo del pallone, viene in contatto coi cristalli di solfato di rame, ne scioglie tanti per quanto arriva a ripristinare il suo stato saturo, e, diventata, quindi, novellamente più pesante, ridiscende cedendo il posto ad altra soluzione che è diventata meno satura, in modo che si ha doppia corrente, ascendente di liquido meno saturo e discendente di liquido più saturo, e la pila, automaticamente, ripristina il grado di saturità necessario per il regolare funzionamento dell'elemento, ossia per la continua depolarizzazione.

La PILA ITALIANA, dovuta al d'Amico, detta così perchè adoperata su vasta scala nei telegrafi italiani, sopprime l' inconveniente del vaso poroso, giovandosi della diversa densità dell'acqua acidulata e del solfato di zinco rispetto al solfato di rame.

Un bicchiere cilindrico, nella parte centrale, presenta una strozzatura molto risentita e cilindrica anche essa: si versa dapprima l'acqua acidulata, poi mediante un imbuto lungo, che tocca il fondo e che presenta un foro di uscita molto stretto, si versa, lentamente, la soluzione di solfato di rame, che, essendo più pesante, si deposita sul fondo e solleva l'acqua acidulata con acido solforico e la fa disporre superiormente ad essa. L'elettrodo negativo è il solito cilindro di zinco, che si mantiene nella soluzione di acido solforico essendo poggiato sulla strozzatura del bicchiere, mentre il polo negativo è costituita da un bastoncino di rame che si mantiene isolato nella parte che attraversa lo strato di acqua acidulata per impedire che avvenissero delle reazioni secondarie. Il comportarsi di questa pila è identico a quello della pila Daniel da cui non differisce che per la soppressione del vaso poroso.

Vaso poroso che trovasi abolito anche nella PILA COLLAUD, che è identica alla precedente, salvo che il bicchiere di vetro non presenta strozzatura, l'elettrodo di zinco è mantenuto nella parte superiore mediante uncini metallici che si aggrappano sull' orlo del recipiente, e l'elettrodo di rame è formato a spirale e pesca nella parte inferiore, debitamente isolato nella parte superiore.

L'ELEMENTO MEIDINGER accoppia la soppressione del vaso poroso con il continuo ed automatico rifornimento del solfato di rame, atto a mantenere il liquido depolarizzante sempre al medesimo grado di saturazione. Esso consta di due vasi di vetro, uno esterno ed eguale a quelli che si adoperano per gli elementi, uno interno ma molto più

piccolo e che occupa solo la parte inferiore del precedente. La soluzione di solfato di rame è mantenuta nel vaso più piccolo mentre nel vaso esterno, e superiormente alla soluzione di solfato di rame, vi è quella di acido solforico. Un imbuto ripieno di cristalli di solfato di rame pesca nel vaso più piccolo in modo da pensare al rifornimento del titolo di quella soluzione, come nell'elemento a pallone.

L'ELEMENTO MARIÈ-DAVY non è altro che una modificazione dell'elemento Daniel: in esso al solfato di rame è sostituito il solfato di protossido di mercurio, che si colloca sotto forma di pasta nel vaso poroso, ed il rame è sostituito dal carbone. La reazione che avviene è proprio identica a quella della pila Daniel: l'acido solforico attacca lo zinco formando solfato di zinco, l'idrogeno attraversa il vaso poroso e riduce il solfato di mercurio, e mette in libertà il mercurio, che si deposita attorno al carbone.

Un'altra pila a depolarizzante liquido è quella che deriva dall'elemento GROVE che fu completamente dimenticato per effetto della geniale sostituzione fatta dal BUNSEN dell'elettrodo positivo di carbone a quello di platino, in modo da renderla commercialmente possibile (1).

In queste pile il depolarizzante è costituito da acido nitrico (HNO_3), che, passando allo stato di perossido di azoto (NO_2), fa sparire l'idrogeno, che, con l'atomo di ossigeno liberato, forma acqua (H_2O).

---

(1) La equazione chimica che dà ragione delle reazioni nella pila Grove è la seguente:

$$\underset{\text{Zinco}}{2Zn} + \underset{\text{Acido solforico}}{H_2SO_4} + \underset{\text{Acido nitrico}}{2HNO_3} + \underset{\text{Platino}}{Pt} = \underset{\text{Zinco}}{Zn} +$$

$$+ \underset{\text{Solfato di zinco}}{ZnSO_4} + \underset{\text{Acqua}}{2H_2O} + \underset{\text{Perossido di azoto}}{2NO_2} + \underset{\text{Platino}}{Pt}$$

Nella pila del Grove in un vaso di vetro vi era la solita acqua acidulata con acido solforico, e nell'interno del vaso poroso una lastra di platino in acido nitrico; lastra di platino, che, come abbiamo detto, nella pila Bunsen è sostituita da un conglomerato di carbone di storta.

In questa pila lo sviluppo di vapori rutilanti di perossido di azoto provoca delle azioni nocive alla respirazione (1).

Un'altra serie di pile è quella che deriva dalla PILA DI POGGENDORF, che sostituì all'acido nitrico una soluzione il bicromato di potassa in acido solforico diluito, e, per tale ragione, tutte le pile, da questa derivate, vanno conosciute sotto il nome generico di PILE AL BICROMATO. Le proporzioni dei diversi componenti sono

Acqua	parti 1000
Bicromato di potassa	» 200
Acido solforico a 66° Beaumè	» 250

ed il miscuglio si ottiene facendo una soluzione di 200 grammi di bicromato di potassa in un litro di acqua e versando, poi, goccia a goccia, per evitare il riscaldamento, in questa soluzione, 130 cm^3 di acido solforico a 66° Beaumè.

Le reazioni chimiche, che avvengono in questa pila, sono le seguenti: lo zinco forma solfato di zinco, liberando l'idrogeno; questo riduce l'acido cromico e lo trasforma in sesquiossido di cromo, che si unisce all'acido solforico:

---

(1) L'equazione che dà ragione della reazione è la seguente:

$$\underset{\text{Zinco}}{2Zn} + \underset{\text{Acido solforico}}{H_2SO_4} + \underset{\text{Acido nitrico}}{2HNO_3} + \underset{\text{Carbone}}{Ca} = \underset{\text{Zinco}}{Zn} +$$

$$+ \underset{\text{Solfato di zinco}}{ZnSO_4} + \underset{\text{Acqua}}{2H_2O} + \underset{\text{Perossido di azoto}}{2NO_2} + \underset{\text{Carbone}}{Ca}$$

la potassa, resa libera, si unisce anche essa all'acido solforico, ed i due solfati danno dell'allume di cromo; si ha quindi, in ultimo, del solfato di zinco, dell'allume di cromo e dell' acqua. Se il vaso esterno contenesse dell'acqua salata, invece di acqua acidulata, come in alcuni elementi si usa di fare, si avrebbe cloruro di zinco, e le altre reazioni rimarrebbero identiche.

La forza elettromotrice, in questi elementi, varia sensibilmente col variarie della composizione del depolarizzante ed aumenta quando si aumenta la quantità di acido solforico.

Una modificazione dell'elemento Poggendorff è L' ELEMENTO DELAURIER adoperato dalla R. Marina italiana pei cronografi Le Boulengè nei balipedii: in esso l'elettrodo positivo è costituito da due lastre di carbone di storta metallicamente riunite fra di loro nella parte superiore: il liquido esterno è acqua acidulata ad 1[10 ed il liquido depolarizzante è costituito dalla miscela.

Acido cromico	25 parti in peso
Solfato di protossido di ferro	25 » »
Acqua	60 » »

su cui si versano, dopo di aver mescolato ben bene, 60 parti in peso di acido solforico, avendo cura di agitare continuamente.

Le pile al bicromato sono anche adoperate senza vaso poroso e quindi con un sol liquido, nel quale sono immersi entrambi gli elettrodi: ma allora, l'attacco allo zinco, avvenendo e continuando anche a circuito aperto, si adottano delle disposizioni speciali per cui, quando la pila non funziona, esso si possa sollevare dalla soluzione ed impedire un inutile spreco di materiale.

L'ELEMENTO GRENET, conosciuto meglio sotto il nome di ELEMENTO A BOTTIGLIA, è costituito da una lastra di zin-

co, che può sollevarsi fuori dalla soluzione attiva. Esso è situato fra due lastre di carbone di storta collegate metallicamente fra di loro nella parte superiore, ed immerse in una bottiglia di vetro, in cui si trova il liquido che funziona da elettrolito e da depolarizzante nel medesimo tempo.

Avendo bisogno di diversi elementi simili in serie o in parallelo risulta più comodo adoperare l'elemento Grenet con recipienti di forma ordinaria, disponendo gli zinchi in modo che essi potessero essere sollevati tutti contemporaneamente mediante la medesima manovra quando la batteria avesse finito di funzionare.

La composizione che si adopera nelle pile al bicromato, senza vaso poroso, è la seguente:

Acqua	gr. 1300
Bicromato di potassa	» 200
Acido solforico a 66° Beaumé	» 250

Questa pila è di un uso molto esteso, ed ha avuto modificazioni, come forma, svariatissime: così si trovano in commercio degli elementi tascabili per illuminare gioielli luminosi in cui l' elemento ha l' aspetto di una scatola cilindrica riempita per metà di liquido e per l'altra metà dagli elettrodi. Essa funziona per rovesciamento, quando il liquido, capovolgendo la scatola di ebanite, viene in contatto con questi. Si trovano anche in commercio dei piccoli elementi costituiti sotto forma di scatolette di ebanite con gli elettrodi positivi al fondo e gli elettrodi negativi formati da tante lastrine di zinco che si immergono nel liquido versato nella scatoletta; ed essi servono per azionare dei piccoli rocchetti di induzione che sono situati nella medesima scatola.

Sono anche adoperate delle pile a BICROMATO DI SODA, nelle quali le reazioni avvengono identicamente a quelle

che si hanno negli elementi a bicromato di potassa. Esse presentano tre vantaggi principalissimi sulle precedenti: 1° il bicromato di soda costa il 25 0|0 meno di quello di potassa; 2° è dieci volte più solubile, quindi permette di adoperare maggior quantità di depolarizzante, a parità di capacità del vaso poroso; 3° a parità di peso contiene maggiore quantità di acido cromico, cioè di liquido depolarizzante.

Un' altra pila importantissima per le applicazioni che riceve, per azionare campanelli elettrici, telefoni, accensioni di torpedini, di artiglierie ecc., ossia per tutti quei servigi pei quali ha bisogno di rimanere chiusa in circuito solo per pochi istanti, altrimenti finisce col polarizzarsi molto facilmente, è la PILA LECLANCHÈ.

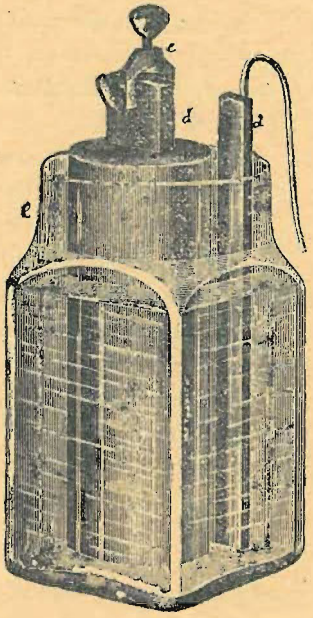


Fig. 6.

Il polo negativo è costituito da zinco sotto forma di un bastoncino o di un cilindro spaccato lungo una generatrice, ed immerso in una soluzione di cloridrato di ammoniaca; il polo positivo è costituito da una lastra di carbone di storta, circondata da biossido di manganese, che viene mescolato con carbone di storta con cui si fanno dei conglomerati che si situano sulle due faccie della lastra di carbone, sopprimendo completamente il vaso poroso, che anticamente adoperavasi, e nel quale si met-

teva questo miscuglio attorno all'elettrodo stesso. Le proporzioni del depolarizzante sono le seguenti:

Biossido di manganese	40 0[0
Carbone di storta	55 0[0
Gomma lacca	5 0[0

L'azione chimica, che si determina in questa pila, è la seguente: lo zinco, attaccato dal cloridrato di ammoniaca, forma cloruro di zinco e mette in libertà ammoniaca ed idrogeno: quella si scioglie nell'acqua o si disperde nell'aria, se è in eccesso: l'idrogeno polarizzerebbe l'elettrodo positivo se non ci fosse il biossido di manganese, che forma, con l'idrogeno, acqua, riducendosi allo stato di sesquiossido (1)

Una pila molto comoda e costante è quella al BIOSSIDO DI RAME inventata nel 1882 da LALANDE e CHAPERON: in essa l'elettrodo negativo è costituito da zinco amalgamato che pesca in una soluzione concentrata di potassa o di soda caustica; il polo positivo è costituito da una lastra di ferro depolarizzata da biossido di rame che si trova compresso contro l'elettrodo stesso.

Ricapitoliamo, nel quadro seguente, i diversi depolarizzanti adoperati, alcuni dei quali, per brevità di esposizione, abbiamo tralasciati anche perchè non più adoperati,

---

(1) La equazione chimica è la seguente:

$$\underset{\text{Zinco}}{2Zn} + \underset{\text{Cloridrato di ammoniaca}}{NH_4\,Cl} + \underset{\text{Biossido di manganese}}{2MnO_2} + \underset{\text{Carbone}}{Ca} =$$

$$= \underset{\text{Zinco}}{Zn} + \underset{\text{Cloruro di zinco}}{Zn\,Cl} + \underset{\text{Ammoniaca}}{NH_2} + \underset{\text{Acqua}}{H_2O} +$$

$$+ \underset{\text{Sesquiossido di manganese}}{Mn_2\,O_3} + \underset{\text{Carbone}}{Ca}$$

altri come quelli a biossido di piombo perchè li tratteremo a parte nella teoria degli accumulatori.

Senza polarizzazione			Elemento Volta . .	(1800)
Depolarizzazione meccanica	Lamina positiva a grande superficie		» Wollaston .	(1815)
	Lamina positiva a superficie scabrosa		» Smée	(1840)
Depolarizzazione chimica	Corpi semplici	Ossigeno	» a gas, Grove	(1839)
		Cloro . .	» Uppward . .	(1886)
	Ossidi	Biossido di mang.	» Leclanché. .	(1868)
		» » rame	» de Lalande e Chaperon	(1882)
		Biossido di piombo	» Plantè o accumulatore.	(1860)
	Acidi	Acido nitrico . .	» Grove	(1839)
		Acido cromico . .	» Sullivan. . .	(1886)
	Sali	Solfato di rame .	» Daniel. . . .	(1836)
		Nitrato di rame .	» Becquerel. .	(1829)
		Solfato di merc. .	» Marié Davy	(1850)
		Bicromato di potas.	» Poggendorf.	(1842)
		Cloruro di argento .	» Warren de la Rue .	(1868)

Nei due quadri che seguono diamo i dati relativi alla costituzione delle principali pile adoperate sia come costituzione degli elementi, che come forze elettromotrici che da esse si possono ricavare.

La prima colonna contiene la indicazione dello inventore della pila, la seconda la costituzione dell'elettrodo negativo, la terza la composizione dell'elettrolito, la quarta la struttura del diaframma poroso, e la sua presenza od assenza, la quinta la natura dell'elettrodo positivo, la sesta la composizione del liquido depolarizzante e l'ultima la differenza di potenziale a circuito esterno aperto.

Dati relativi ad alcuni elementi di pila

Nome	Elettrodo negativo	Liquido eccitatore	Diaframma	Elettrodo positivo	Depolarizzante	Forza elettromotrice in volt a circuito aperto.
Volta	Zinco	1 Acido solforico; 10 acqua	Senza diaframma	Rame	Senza depolarizzante	0,4 a 0,8
Smée	»	1 » 7 »	«	Arg. plat.	»	0,4 a 0,1
Walker	»	1 » 7 »	»	Carb. plat.	»	0,5 a 0,1
Pila svizzera . .	»	Sol. satura di sale marino	»	Carbone	»	—
Maiche.	Zn. amalg.	Sol. di sale ammoniaco	»	Carb. plat.	»	1,25
Becquerel. . . .	Zinco	Sol. d' azotato di zinco	Senza diaframma	Rame	Sol. satura di azotato di rame	0,99
Daniell.	Zn. amalg.	1 Acido solforico; 7 1/2 acqua	Vaso poroso	»	» di solfato di rame	1,07
Idem	»	1 » 22 »	»	»	» » »	0,97
Idem	»	1 » 22 »	»	»	» di azotato di rame	0,99
Idem	»	1 » 22 »	»	»	Sol. diluita di solfato di rame	0,90
Idem	»	Sol. satura di solfato di zinco	»	»	Sol. satura » »	1,07
Italiana	Zinco	Acqua	Diff. dens. dei liquidi	»	» » »	1,05
A pallone. . . .	Zn. amalg.	1 Acido solforico; 20 acqua	Vaso poroso	»	» » »	1,07
Siemens	»	Sol. di solfato di zinco	Pasta di carta, di legno o di sabbia	»	» » »	1,07
Minotto	»	» »	»	»	» » »	1,07
Callaud	»	1 Sol satura di zinco; 9 acqua	Diff dens. dei liquidi	»	» » »	1,07
Meidinger . . .	»	Sol. di solfato di magnesio	»	»	» » »	1,07
Thomson. . . .	»	» di zinco (dens. 1,1)	»	»	» » «	1,07
Reynier	»	30 Soda caustica; 70 acqua	Carta pergamena	»	Sol. acida di solfato di rame	1,50
Marié-Davy . . .	Zn. amalg	1 Acido solforico; 20 acqua	Vaso poroso	Carbone	Pasta di protosolfato di merc.	1,51
Regio esercito . .	»	» »	»	»	» » »	1,50
Grove	»	1 » 7 1/2 acqua	»	Platino	Acido azotico fumante	1,95
Idem	»	Sol. di sale marino	»	»	» (densità 1,33)	1,89
Idem	»	1 Acido solforico; 22 acqua	»	»	» (» 1,33)	1,80
Idem	»	Sol di solfato di zinco	»	»	» (» 1,33)	1,66
Bunsen	»	1 Acido solforico; 10 acqua	»	Carbone	» (» 1,33 a 1,38)	1,72
D' Arsonval. . .	»	1 Acido solforico; 1 acido cloridrico; 20 acqua.	»	»	1 Acido azot. (dens. 1,33; 1 acido clorid.; 2 acqua acid. solf. al 5 %	1,22
Callaud	»	1 Acido solforico; 20 acqua	»	»	Acido azotico (densità 1,38)	1,68
Lacomb	»	» «	»	»	Clorato di potassio e acido solf	2,00

Dati relativi ad alcuni elementi di pila

Nome	Elettrodo negativo	Liquido eccitatore	Diaframma	Elettrodo positivo	Depolarizzante	Forza elettromotrice in volt a circuito aperto.
Duchemin	Zinco	25 Sale marino; 75 acqua	Vaso poroso	Carbone	Percloruro di ferro	1,54
Poggendorff. . .	Zn. amalg.	1 Acido solforico; 20 acqua	Vaso poroso	Carbone	100 gr. bicr. di potassio, 50 gr. acido solforico; 1 litro acqua	—
Fuller	»	Acqua	»	»	Bicr. di potas., sciolto in acqua acidulata solforica a $^1/_{10}$	1,80
D' Arsonval . . .	Zn. amalg.	Acqua	Vaso poroso	Carbone platinato	1 Vol. sol. satura bicromato di potas.; 1 vol. ac. clor. ordin.	—
Byrne	»	1 Acido solforico; 20 aqcua	»	Carbone	Sol. di bicromato di potassio in acqua acidu'ata solforica	—
Sullivan	»	» »	»	»	380 Ac. cromico; 220 cm.3 acido solforico; 750 gr. acqua	1,90
Thame.	»	» »	»	»	Cloruro di cromo e ac. azotico	1,98
Delaurier. . . .	»	Zinco immmerso nel liquido depolarizzante	Senza diaframma	»	184 gr. bicrom. di potassio; 428 gr. ac. solforico; 2 litri acqua	1,90
Trouvé	»	» »	»	Platino	100 bicr. di potassio; 300 acido solforico; 600 acqua	2,00
De la Rive . . .	»	1 Acido solforico; 10 acqua	Vaso poroso	Carbone	Biossido di piombo	—
Leclanché . . .	Zn. amalg.	Sol. sale ammon. (densità 1,07)	Senza diaframma	Carbone	Biossido di manganese	1,48
Howel.	»	25 gr. solfato d'ammon.; 1 litro di acqua	Vaso poroso	Carb.+MnO^2 + SO^4 Mn	1 Acido solforico; 5 acqua	2,00
Warren de la Rue	Zinco	25 gr. sale ammon.; 1 litro acqua	Carta pergamena	Argento	Cloruro d' argento fuso	1,05
Skrivanoff . . .	»	75 Potassa caustica; 25 acqua	»	»	Cloruro d' argento precipitato.	1,45
De Lalande e Chaperon	Zinco	30 Potassa caustica; 70 acqua	Senza diaframma	Ferro	Biossido di rame	0,98
Gassner	Zinco	Pasta di gesso, acqua, cloruro ammonico, cloruro di zinco ed ossido di zinco	Senza diaframma	Carb. artificiale impregnato di cloruro di ferro	Idrato di ferro proveniente dalla reazione della pasta sullo zinco	1,30

Sono conosciute genericamente col nome di PILE A SECCO delle pile in cui tanto il liquido eccitatore, quanto quello depolarizzante sono assorbiti da sostanze, che rimangono allo stato umido , in modo da eliminare la presenza di materie liquide e da rendere gli elementi facilmente trasportabili.

A tale uopo si sono escogitati vari dispositivi, che rispondono più o meno bene al requisito richiesto. Le soluzioni possono essere assorbite da corpi porosi inerti come le spugne, l' amianto, il feltro, il carbone, la sabbia , il gesso, o il cofferdam che è una polvere tratta dalla noce di cocco e capace di assorbire il proprio volume di liquido formando quasi una gelatina.

Queste pile a secco presentano una evaporazione molto lenta e quindi permettono agli elementi di funzionare lungamente senza bisogno di rinnovare le soluzioni, però non possono essere usate che per correnti di piccola intensità, perchè l' imprigionamento dei liquidi attivi non favorisce le reazioni chimiche.

RIASSUNTO

L' idrogeno che si sviluppa sull'elettrodo positivo determina una corrente di senso contrario alla principale, e che vien detta corrente di polarizzazione, che abbassa la differenza di potenziale ai poli della pila. — La depolarizzazione serve ad eliminare tale corrente, impedendo all' idrogeno di svilupparsi sull' elettrodo positivo.

I depolarizzanti possono essere meccanici e chimici. — Pile con depolarizzazione meccanica: pila Smée e pila Wollaston. — Pile con depolarizzanti

chimici. — Tipo Daniell e derivati con depolarizzante costituito da solfato di rame. — Pila Mariè-Davy con depolarizzante costituito da protossido di mercurio. — Pila Grove e derivate con depolarizzante costituito da acido nitrico. — Pila Poggendorff e derivate con depolarizzante costituito da bicromato di potassa. — Pila al bicromato di soda.— Pila Leclanchè con depolarizzante costituito da biossido di Manganese. — Pila Lalande e Chaperon con depolarizzante costituito da biossido di rame. — Dati relativi a diverse pile. — Pile a secco.

CAPITOLO IV.

Pile campioni

È molto importante, e di utilità grandissima, poter disporre di una differenza di potenziale esattamente nota, e che si mantenga costante col passare del tempo. Però, a questo riguardo, bisogna distinguere se si ha bisogno della costanza della differenza di potenziale a circuito aperto o a circuito chiuso.

La pila Daniell, opportunamente modificata, è stata, per lungo tempo, adoperata come pila campione, specialmente nel modello del POST OFFICE, in cui sono disposte le cose in modo che essa resti montata semplicemente negli istanti in cui deve funzionare, e poi si smonta mettendo gli elettrodi ed il vaso poroso in due scompartimenti di una medesima cassetta che col terzo scompartimento, quello di mezzo, funziona da vaso esterno.

L'elemento campione GOUY, che si adopera quando si ha bisogno di una differenza di potenziale costante a cir-

cuito aperto, è costituito da un tubo di vetro contenente uno strato di mercurio puro, ricoperto da uno strato di biossido giallo di mercurio. Un filo di platino, saldato nel vetro, forma lo elettrodo positivo, mentre quello negativo è costituito da una bacchetta di zinco puro, amalgamato, protetta, da un tubetto di vetro bucherellato, o meglio avvolta con lana di vetro (vetro filato).

Il recipiente contiene una soluzione di solfato di zinco di densità 1,06 (cioè 10 per cento di solfato in cristalli). La forza elettromotrice, che può dare questo elemento, è di 1,39 volt e la variazione di essa con la temperatura è di $\frac{1}{10000}$ per grado, e quindi completamente trascurabile.

L' elemento Reyner è costituito da un bicchiere nel quale si pone una tela di rame arrotolata tre o quattro volte su sè stessa in forma di cilindro cavo. Nell'asse di questa si fa pescare, solo quando la pila deve funzionare, una bacchetta di zinco puro amalgamato. Il bicchiere si riempie con una soluzione neutra e limpida di solfato di zinco (50 parti di solfato di zinco e 100 di acqua) e dà una forza elettromotrice di 1,03 volt, quasi indipendente dalla temperatura.

Questo campione è convenientissimo in pratica, ma non deve mai chiudersi su di una resistenza più piccola di 1000 ohm.

Ora, però, si usa quasi esclusivamente la pila Clark, indicata come campione dal Congresso di Chicago. Le istruzioni per ottenere questa pila, per farla corrispondere ai requisiti che in essa si vanno ricercando, sono le seguenti:

L'elettrodo positivo è costituito da mercurio, quello negativo da zinco amalgamato: l' elettrolito da una soluzione satura di solfato di zinco e solfato mercuroso.

La forza elettromotrice, che può dare questa pila è di

1,434 volt alla temperatura di 15° centigradi e diminuisce di 0,00115 volt per ogni grado di aumento di temperatura fra 10° e 25°.

Il recipiente di vetro costa di due parti cilindriche, che convergono in alto e si riuniscono in un collo comune, chiuso da un turacciolo di vetro smerigliato. Le due parti debbono avere almeno 2 cm. di diametro e 3 cm. di lunghezza: al fondo di ognuna di esse è fissato, attraverso al vetro, un filo di platino di circa 0,4 mm. di diametro del collo deve essere almeno di 1,5 cm.

Sul fondo, in modo da ricoprire perfettamente i fili di platino, si pone da una parte mercurio puro, dall' altra amalgama di zinco contenente 90 parti di mercurio e 10 di zinco. Sul mercurio si dispone uno strato di un cm. di spessore di pasta di solfato di zinco e solfato mercuroso; sopra questa e sopra l'amalgama di zinco, si dispone uno strato di un cm. di solfato di zinco neutro e si riempie l' intero recipiente con soluzione satura di solfato di zinco.

Il mercurio lo si tratta preventivamente con acido e lo si distilla nel vuoto, in modo da averlo chimicamente puro.

L' amalgama di zinco si prepara fondendo in un crogiuolo di porcellana 90 parti, in peso, di mercurio e 10 parti di zinco commercialmente puro, e si riscalda a 100° centigradi, agitando moderatamente fino a che lo zinco sia completamente sciolto nel mercurio.

Il solfato mercuroso deve essere liberato da ogni traccia di solfato mercurico acido, e perciò lo si mescola con un pò di mercurio puro, si lava bene con acqua distillata fredda, agitandolo in una bottiglia, si versa via la acqua e si ripete l'operazione almeno per tre volte.

Il solfato di zinco deve essere puro, neutro, cristallizzato e libero di ferro. Si mescola con acqua con circa il

doppio in peso di cristalli di solfato di zinco puro, e, per neutralizzare l'acido libero, si aggiunge ossido di zinco nella proporzione del 20 °/₀ del peso dei cristalli di solfato. I cristalli si sciolgono a fuoco dolce, senza lasciar elevare oltre 30° centigradi la temperatura della soluzione. Si aggiunge ancora solfato mercuroso, trattato come sopra nella proporzione di circa il 12 °/₀ dei cristalli di solfato di zinco per neutralizzare il rimanente ossido di zinco, e si filtra a caldo.

Per preparare la pasta di solfato mercuroso e solfato di zinco si uniscono due o tre parti in peso di solfato mercuroso ed una parte di mercurio. Se il solfato mercuroso è secco lo si mescola con una pasta formata da cristalli di solfato di zinco in una soluzione concentrata di solfato di zinco; se è umido vi si aggiungono i soli cristalli di solfato di zinco che debbono però essere in eccesso, in modo da non sciogliersi completamente in seguito. L'insieme dovrà formare una massa compatta disseminata di cristalli di solfato di zinco e goccioline di mercurio.

Dopo ciò si procede alla montatura dell'elemento. Il recipiente, ben pulito, ed essiccato si dispone in un bagno maria; vi si introduce pel collo un tubo di vetro che arrivi sino al fondo di una delle due parti e che sia abbastanza largo da servire per l'introduzione dell'amalgama senza che si abbia a sporcare superiormente il recipiente.

In un crogiuolo di porcellana sarà intanto riscaldata l'amalgama, che si introdurrà con un contagoccie lungo circa 10 cm., in modo da ricoprire perfettamente il filo di platino; si toglie il vaso dal bagno e si lascia raffreddare. Mediante un contagoccie si introducce quindi nell'altra parte del recipiente il mercurio e dopo la pasta di solfato mercuroso e solfato di zinco, versandola attraverso ad un largo tubo, che arrivi quasi al mercurio, e

superiormente sia foggiato ad imbuto; occorrendo si spinge la pasta con una bacchetta di vetro. Poscia sulla pasta e sull' amalgama si dispone lo strato di cristalli di solfato di zinco, e infine si versa sopra la soluzione concentrata di solfato di zinco, per mezzo di nn piccolo imbuto di vetro, in modo da lasciare il collo del recipiente pulito e asciutto; tra la soluzione ed il turacciolo si lascia un piccolo spazio libero. Finalmente si spalma il turacciolo tutto attorno, presso la parte superiore, con una soluzione alcoolica di gomma lacca e lo si preme fortemente a posto.

RIASSUNTO

Le pile campioni sono quelle che mantengono costante la differenza di potenziale ai poli. — Pile che mantengono costante tale differenza di potenziale a circuito esterno aperto; pile che la mantengono invariata a circuito esterno chiuso.—Elemento Gouy. — Elemento Raynier. — Elemento Clark.

Capitolo V.

Montatura e Manutenzione della pile

Il buon funzionamento della pile dipende essenzialmente dalla buona montatura, dalla manutenzione accurata a cui debbono essere sottomesse, e dalla perfetta istallazione.

La prima cosa a cui bisogna por mente è alla amalgamazione dello zinco, quando si adopera questo allo stato non puro, perchè altrimenti esso viene attaccato dalla soluzione di acido solforico anche a circuito aperto,

producendo consumo di materiale senza energia utilizzabile.

Questa azione, che si manifesta a circuito aperto, è dovuta alla formazione di piccole coppie alla superficie dell'elettrodo negativo, in cui i poli positivi sono rappresentati dalle impurità contenute nello zinco, e specialmente dalle particelle di piombo, e i poli negativi da quelle contigue di zinco; queste coppie locali, rimanendo sempre chiuse, fanno perdurare le reazioni chimiche, che producono il consumo del materiale.

Kemp dimostrò sperimentalmente che le azioni chimiche superficiali si impediscono amalgamando la superficie libera dello zinco, e per tale ragione, si adoperano, nelle pile, zinchi amalgamati invece di zinchi puri, dato il costo rilevante di questi ultimi.

L'amalgamazione si ottiene facilmente immergendo lo zinco, per pochi minuti, nell' acqua leggermente acidulata con acido solforico, fino a che comincia l' effervescenza, e poi strofinandolo con mercurio o con un sale di mercurio. Talvolta si fondono insieme 4 parti di mercurio con 96 parti di zinco.

L'amalgama difende lo zinco dall'azione del liquido eccitatore, perchè impedisce a questo di poter attivare le coppie locali, data la superficie liscia che viene a determinarsi, su cui aderisce uno strato di idrogeno, che impedisce l' ulteriore azione dell' acido sullo zinco stesso.

L'efficacia dell'amalgama, nella protezione dello zinco, è massima quando il liquido attivo è costituito da acqua acidulata con acido solforico, è minore quando trattasi di soluzione di solfato di zinco, di cloridrato di ammoniaca, o di potassa, è minima quando trattasi di soluzione di solfato di rame o bicromato di potassa.

Dopo l' amalgamazione degli zinchi, bisogna accertarsi che il vaso poroso, nel caso che si tratti di pile che

lo contengano, sia di buona qualità, e si trovi in buone condizioni; e per convincersi di ciò basta riempirlo di acqua e lasciarlo così per qualche ora.

Se, dopo tale intervallo di tempo, la superficie esterna è ricoperta di piccole goccioline senza che il liquido scorra lungo di esso, il vaso è in buone condizioni. Se non si trovano tracce di liquido verso l'esterno non si ha la possibilità della comunicazione fra i due liquidi e quindi si impedisce il funzionamento della pila. Nel caso invece che il liquido scorra lungo la parete esterna, i due liquidi finiscono col mescolarsi ed il vaso poroso non avrebbe più nessuna ragione di esistere.

Già innanzi abbiano accennato alla possibilità di sali rampicanti, che, nella pila italiana, abbiamo visto poter determinare qualche corto circuito, nell' interno di essa, fra i due suoi elettrodi, ora questi sali rampicanti finiscono, nelle pile a vaso poroso, con l'agglomerarsi sull' orlo superiore di questo e per eliminare tale fatto si suole immergere l'orlo superiore del vaso poroso, preventivamente riscaldato, nella paraffina fusa per l' altezza di circa un centimetro.

Però bisogna por mente che le soluzioni di solfato di rame, o di bicromato di potassa non lascino dei depositi di rame o di potassa incastrati nei pori del vaso. Quando ciò avviene o bisogna sciogliere tali depositi trattandoli con acido nitrico o metter fuori di servizio il vaso, perchè essi finiscono con l' impedire gli effetti della porosità non solo, ma a causa delle diverse dilatazioni delle cristallizzazioni e dei depositi matallici, che si insinuano nei pori, il vaso finisce con lo spaccarsi e per tale ragione il Reynier adopera, invece di vasi porosi, dei recipienti parallelepipedi costituiti da carta pergamenata.

Assicuratosi dell' amalgamazione degli zinchi, e della bontà del vaso poroso, si passa alla preparazione dei li-

quidi tanto eccitatore che depolarizzante, seguendo le indicazioni date nella descrizione delle singole pile e nei due quadri sinottici allegati al penultimo capitolo.

Essi si sogliono versare nella pila, dopo che queste sono state accuratamente montate, mediante un imbuto a collo lungo per non bagnare e rovinare i morsetti che servono a collegare le diverse pile fra di loro e col circuito esterno.

Ma, sopra tutto, bisogna por mente all' isolamento della batteria, senza di che cominciano ad aversi perdite di corrente per dispersione nel suolo: isolamento a cui si deve provvedere con tanta maggior cura, quanto più elevato è il potenziale della batteria che si adopera.

Per tale ragione gli elementi debbono essere disposti su lastre o isolatori di vetro, perfettamente asciutti, o meglio su uno strato di paraffina, e ciò per evitare che le proiezioni di acido, che finiscono con avverarsi, stabiliscano una continuità conduttiva col suolo.

Ma le pile non solo debbono essere messe in condizione di ben funzionare, ma debbono essere collegate fra di loro e col circuito esterno, per cui bisogna adoperare delle saldature, quando le condizioni di stabilità dell' impianto lo permettano, e, in caso diverso bisogna ottenere tali collegamenti mediante morsetti o serrafili. Bisogna, però, porre la massima cura nella montatura dei morsetti e dei serrafili, perchè basta un contatto male stabilito, un morsetto non giustamente stretto, uno strato leggerissimo di ossido o di sale metallico, determinatosi nel contatto, per cui si aumenti talmente la resistenza, da far diminuire di molto, se non impedire del tutto, la propagazione della corrente nel circuito esterno.

L' isolamento della batteria deve essere curato anche pei corti circuiti, che possono stabilirsi fra diversi elementi, per cui non viene ad utilizzarsi tutta la corrente non solo, ma gli elementi, chiusi in corto circuito, fini-

scono con l'esaurirsi anche a circuito esterno aperto, perchè, per essi, anche in questo caso, il circuito si mantiene sempre chiuso.

Allorchè si adoperano morsetti o serrafili per congiungere fra di loro i diversi elementi, bisogna pulire le parti metalliche, che vengono in contatto, con una lima fina o con smeriglio, in modo da mettere a nudo la parte metallica ed eliminare anche la benchè minima traccia di ossido, e bisogna evitare di toccare con la mano le parti che debbono venire in contatto per non ricoprirle di grasso, che rappresenta un impedimento al passaggio della corrente; anzi, per essere certi che ciò non sia avvenuto si sogliono immergere queste parti in soluzioni caustiche, che portano via le tracce di grasso se ne esistono.

Nelle pile, dove si svolgono gas attaccabili, è utile ricoprire i morsetti con una fogliolina di stagnola per impedire che i composti, che vengono a formarsi, si infiltrino sotto i contatti e aumentino la resistenza di essi, cosa che avviene, per esempio, nelle pile Leclanché, in cui il composto ammoniacale di rame finisce con l'impedire il passaggio della corrente o del tutto o parzialmente, se non viene asportato mediante forte grattamento.

Quando le pile finiscono di funzionare e debbono restare per lungo tempo inattive, è opportuno smontarle, e risciacquare tanto gli elettrodi negativi che i positivi, come pure i vasi porosi; e se dopo che essi si sono asciugati all'aria libera presentano ancora efflorescenze saline, bisogna procedere novellamente alla riasciacquatura e talvolta arrivare anche al grattamento.

Poi si conserva il tutto in casse contenente segatura di legno.

RIASSUNTO

Per evitare il consumo degli zinchi, a circuito esterno aperto, quando si adopera zinco del commercio, è necessario amalgamarli. — Amalgama per sfregamento e per fusione. — Il consumo è dovuto all'azione di coppie locali che si stabiliscono fra lo zinco e le impurità. — Esame dei vasi porosi nei riguardi della porosità. — Sali rampicanti e incrostanti le porosità: loro eliminazione. — Preparazione del liquido eccitatore e di quello depolarizzante. — Isolamento della batteria e dei diversi elementi fra di loro. — Cure da tenersi nella congiunzione dei diversi elementi fra di loro e col circuito esterno. — Smontatura delle pile.

Capitolo VI.

Requisiti — Difetti — Scelta delle pile

Perchè una pila idroelettrica possa ritenersi perfetta, dove rispondere alle seguenti condizioni, che, sventuratamente, non sono, fino a questo momento, riunite tutte in un solo elemento.

Dovrebbe avere un'elevata forza elettromotrice da mantenersi costante, qualsiasi fosse la intensità di corrente; una piccola e costante resistenza interna; non subire reazioni chimiche a circuito esterno aperto, consumare sostanze di poco prezzo; ed essere costruita in modo da essere facilmente sorvegliata e rifornita di nuovi reagenti, quando fosse necessario.

Allorchè una pila non funziona regolarmente bisogna accertarsi delle cause, che queste irregolarità determinano, ed eliminarle per rimetterla in condizione normale.

La prima cosa a farsi è di vedere se i contatti sono in buono stato e perfettamente serrati; poi se le soluzioni hanno il titolo necessario per il funzionamento; se gli elementi sono esausti in parte o completamente; e principalmente se vi sono depositi salini, che stabiliscano corti circuiti fra gli elettrodi nell' interno delle pile.

Queste debbono essere scelte a seconda dello scopo a cui mirano, quantunque per molti dei casi che noi enumereremo, esse sono presentemente sostituite dagli accumulatori ed anche da dinamo elettriche, ossia da macchine che trasformano direttamente l'energia meccanica in elettrica.

Per le applicazioni, che richiedono una produzione continua, come la illuminazione elettrica, è conveniente adoperare degli elementi che possono, per lungo tempo, mantenere, a circuito chiuso, costante il potenziale agli estremi della batteria, come le pile Poggendorff, Grove, Bunsen, De Lalande e Chapéron, le pile al bicromato, Carré, Reynier, ecc.

Per le applicazioni, che richiedono grande intensità, come per la elettrometallurgia, bisogna adoperare elementi a grande superficie.

Nel caso di pile che debbono intermittentemente fornire energia elettrica, come per le applicazioni della telefonia, telegrafia, campanelli elettrici e sonerie si può ricorrere a pile poco costanti e di piccola energia quali sono le Leclanché e le Marié-Davy.

Per il servizio della torpedini, a secondo dei casi, si adoperano pile Leclanché o pile Poggendorff.

Per misure elettriche, si ricorre a pile a corrente debole e costante.

Le grandi variazioni di temperatura influiscono enormemente sul rendimento delle pile, e perciò bisogna collocare la batteria in locali nei quali la temperatura resti sensibilmente costante.

Diamo, nel quadro seguente, dei dati relativi al peso di alcune pile, ed al prezzo della energia per cavallo ora.

TAVOLA IV

Tipo delle pile	Peso in kgm. per cavallo ora	Prezzo per cavallo — ora in Lire
Daniel - Callaud	125	3,90
Grenet - Trouvé - Poggendorf.	67	5 40
Renard	24	15,00
Bunsen - Grove	18	1,80
Leclanché - Reynier. . . .	160	4,70

RIASSUNTO

Requisiti che dovrebbe presentare una pila perfetta. — Difetti delle pile. — Scelta delle pile a seconda degli scopi a cui debbono servire.

PARTE TERZA

Pile termo-elettriche

Capitolo I.

Teoria e funzionamento delle Pile termo-elettriche

Nel 1821, Seebeck, sperimentalmente, trovò che, quando due metalli differenti sono saldati fra di loro, in modo da formare un circuito chiuso, e le due saldature si mantengono a diverso potenziale, si stabilisce una corrente elettrica, che va da uno dei metalli all'altro.

I due metalli, così saldati, si chiamano, rispettivamente, positivo e negativo; e per convenzione si dà il nome di positivo al metallo verso cui si dirige la corrente nella saldatura calda.

Il fenomeno Seebeck è uno di quei fenomeni così detti reversibili: cioè se si riscalda una delle due saldature esistenti fra due metalli si ha produzione di una corrente, se invece si fa passare una corrente fra due metalli saldati assieme, una delle due saldature si riscalda e l'altra si raffredda. Questa reversibilità, la cui scoperta devesi al Peltier, è mascherata, per correnti intense, dall'effetto Joule, e per dimostrarne sperimentalmente la esistenza debbono adoperarsi delle correnti di piccola intensità.

Finalmente il Thomson ha trovato che la produzione della corrente si manifesta non solo nelle saldature di due metalli, mantenuti a differente temperatura, ma anche in uno stesso metallo quando i diversi suoi punti sono variamente riscaldati.

Questo effetto, però, influisce su tutti i valori delle forze elettromotrici termoelettriche, e poichè esso può generare una forza elettromotrice di segno contrario a quella dovuta all'effetto Seebeck, esso può mascherare completamente il primo fenomeno. Anzi è con questo effetto che si spiega il fatto dello annullamento della corrente e della inversione di essa con l'elevarsi della temperatura, perchè, con lo elevarsi di questa in una delle due saldature, si aumenta la differenza di temperatura fra i diversi punti dei due conduttori che costituiscono la coppia termoelettrica.

Così nella coppia ferro-rame, che ora abbiamo mentovato, la temperatura, che dà la forza elettromotrice massima, è quella di 260°, ed allora si ha che le forze elettromotrici ottenute mantenendo una delle due saldature a zero e l'altra a 10° o a 510, a 100 o a 420, a 130 o a 390 sono perfettamente identiche fra di loro.

La conoscenza di questo fatto ci può, nelle applicazioni delle pile termoelettriche, far risparmiare una quantità rilevante di energia calorifica, perchè, sapendo che si ha una medesima forza elettromotrice per due temperature distinte di cui una molto più elevata dell'altra, non si arriva alla temperatura più alta, ma ci si ferma alla prima.

Si suole dare il nome di POTERE TERMOELETTRICO alla forza elettromotrice che si stabilisce quando tra una saldatura e l'altra vi è la differenza di un grado; ed esso varia da temperatura a temperatura, e per ciò, nell'indicare il suo valore, bisogna aggiungere la temperatura a cui si riferisce.

Queste correnti, le quali sono dovute all'azione del calore, e che rappresentano la trasformazione della energia calorifica in energia elettrica, portano perciò il nome di CORRENTI TERMO-ELETTRICHE, e le macchine che le generano di PILE TERMO-ELETTRICHE.

Nell'effetto Thomson ci sono alcuni metalli per cui l'accrescimento del potenziale avviene nel senso dell'aumento della temperatura, e questi portano il nome di metalli POSITIVI in altri avviene in senso inverso e questi si chiamano NEGATIVI.

Sono metalli positivi: l'argento, il rame, l'antimonio, lo zinco ed altri; sono negativi: l'alluminio, il platino, lo stagno, il bismuto e così via.

Allorchè noi riscaldiamo una delle due saldature, mantenendo a temperatura costante l'altra, la forza elettromotrice termo-elettrica aumenta con l'aumentare della temperatura, ma questo aumento non perdura; giunto ad un determinato limite, aumentando ancora la temperatura della saldatura calda, la forza elettromotrice comincia col diminuire fino a che arriva ad annullarsi, per poi invertirsi di senso quando si aumenta la temperatura della saldatura stessa.

Così ad esempio: nella coppia rame-ferro, in cui il ferro è il metallo positivo, se si mantiene a zero una delle due saldature si ha una differenza di potenziale sempre crescente fino a che la temperatura della saldatura calda arriva a 260°; da 260° in poi incomincia a decrescere la forza elettromotrice fino a 520°, temperatura in cui diventa nulla, per mutare di segno, ossia per fare diventare negativo il ferro se si aumenta ancora la temperatura. Questa temperatura, per cui il segno della forza elettromotrice cambia, porta perciò il nome di TEMPERATURA DI INVERSIONE.

Si osserva, però, in questo fenomeno, un fatto notevole, che, cioè, mantenendo sempre costante la temperatura di una delle saldature ed aumentando la temperatura dell'altra le forze elettromotrici, che si generano per temperature equidistanti da quella che ha il valor massimo della forza elettromotrice, sono eguali fra di loro.

Su questi principii sono fondate le pile termoelettriche, le quali, per poter dare una forza elettromotrice non tanto piccola, debbono presentare molti elementi riuniti in serie, con opportune disposizioni, in modo da poter usare una sola sorgente calorifica per riscaldare le saldature che debbono tenersi a temperatura più elevata, ed un solo apparecchio frigorifero per tenere a più bassa temperatura le altre saldature; quantunque queste ultime possano tenersi a una temperatura più bassa con una corrente di aria, come è praticato in moltissime pile.

La PILA NOBILI, detta anche TERMO-MOLTIPLICATORE DEL MELLONI, è costituita da coppie di bismuto ed antimonio, disposte a zig-zag, in vari ordini sovrapposti in modo che tutte le saldature dispari si trovano da un lato, e tutte le pari dall'altra. La forma, che acquista questa pila è quella di un cubo di circa 2 cm. di lato, ed è accoppiata ad un sensibile galvanometro di cui fa deviare l'ago col semplice calore irradiato dalla mano, quando questa gli si avvicina.

La PILA DI NOÈ e KEBICEK è formata da coppie di fili di argentana e di una lega di zinco e antimonio (in proporzioni eguali) disposte come i raggi di una ruota: in modo che tutte le saldature dispari si trovano verso il centro e le pari verso la periferia.

Il funzionamento si ottiene riscaldando la parte centrale con una fiamma a spirito o a gas, e ottenendo il raffreddamento della parte periferica per mezzo dell' aria, che circola attorno ad essa.

La PILA CLAUROND è identica come struttura alla precedente, ma ha soltanto dei fili di argentana invece delle lamine di ferro o di nickel. In questa pila, però, sono riuniti diversi elementi sovrapposti l' uno all' altro in modo da farle assumere un aspetto cilindrico, ed essi, riscaldati, contemporaneamente, nel medesimo modo, nelle saldature centrali, possono essere riuniti sia in serie che in quantità.

RIASSUNTO

Le pile termoelettriche sono basate sulla trasformazione della energia calorifica in energia elettrica.— I fenomeni che regolano la produzione della corrente elettrica sono i seguenti:

Effetto Seebeck per cui, mantenendo a diversa temperatura due saldature esistenti fra due metalli differenti si ha produzione di corrente. — Effetto Thomson per cui tale produzione si ha anche quando si mantengono a diversa temperatura i diversi punti di uno stesso metallo.

Effetto Peltier che è l'inverso di quello Seebeck, per cui quando si fa passare una corrente attraverso due metalli diversi riuniti per mezzo di due saldature, una di queste si riscalda e l'altra si raffredda. — Temperatura di inversione. — Pila Nobili o termomoltiplicatore del Melloni. — Pila Noë e Kebicek. — Pila Claurond.

Capitolo II.

Uso delle pile termoelettriche

Da quanto si è detto risulta che le pile termoelettriche non possono servire a scopi industriali, data la tenuità della forza elettromotrice che esse generano.

A ciò si aggiunga il propagarsi per conduzione del calore dalla saldatura calda verso la fredda, che ci obbliga a spendere una quantità di energia superiore a quella che

spenderemmo, per mantenere la medesima differenza di temperatura, se questa propagazione per conduzione non esistesse.

Ma vi ha di più: negli stessi fenomeni termoelettrici noi troviamo qualche cosa che tende ad ostacolare la produzione della corrente, perchè l'effetto Peltier tende a far sì che la corrente, che si genera nella pila, riscaldi la saldatura fredda e raffreddi la calda; tenda cioè a far diminuire la differenza di temperatura che genera la corrente.

Quando, però, si consideri che queste pile, data una certa differenza di temperatura fra le saldature, non possono generare che una determinata forza elettromotrice e non altra, e quando si pensi allo spazio piccolissimo, che può occupare una delle saldature di queste coppie, si comprende benissimo che esse possono rendere dei servizi inestimabili nella misura delle temperature entro spazi ristrettissimi nei quali nessun altro termometro potrebbe essere applicato.

Ed i fisici adottano su larga scala dei termometri basati appunto su questo principio: termometri i quali sono anche adoperati per misurare, con precisione abbastanza grande, temperature molto elevate e molto basse.

Una delle due saldature si mantiene a temperatura costante, per esempio in un bagno di ghiaccio fondente o in mezzo al vapore di acqua alla pressione ordinaria, e l'altra si porta nel punto in cui si vuol misurare la temperatura: dalla differenza di potenziale generata, che si misura mediante un voltometro di precisione o si deduce mediante la indicazione della intensità da un galvanometro anche esso di precisione, si risale alla temperatura, che quella saldatura doveva avere in rapporto all'altra mantenuta a temperatura costante.

Becquerel, Siemens, Le Chatlier hanno costruito dei termometri o dei pirometri basati appunto su questo prin-

cipio, e quello del Le Chatlier è formato da una coppia platino-lega di platino e sodio (0,1).

Questi apparecchi debbono essere tarati empiricamente, confrontandoli con apparecchi campioni e debbono essere, di tanto in tanto verificati perchè le variazioni nelle aggregazioni molecolari, che avvengono molto facilmente, finiscono col farne variare la resistenza; per tale ragione le indicazioni, che si hanno ai galvanometri, per una determinata differenza di potenziale, non rispondono più alla medesima temperatura a cui prima si riferivano, quando cioè queste variazioni di aggregazione non si erano ancora manifestate.

RIASSUNTO

Le pile termoelettriche non possono essere industrialmente adoperate come generatori di corrente data la tenuità delle forze elettromotrici che generano.

I fenomeni di conduzione del calore lungo gli elementi delle coppie e quello Peltier congiurano a diminuire il rendimento delle pile termoelettriche.

Uso delle pile termoelettriche quali misuratori di temperatura. — Pirometro Le Chatlier.

PARTE QUARTA

Dinamo a corrente continua

Capitolo I.

Generalità sulle Dinamo

Appena Faraday, nel 1831, scoprì le leggi della induzione elettromagnetica, apparvero moltissime macchine fondate su tale principio per la produzione della corrente elettrica. In esse si otteneva la corrente mediante il movimento di un circuito metallico chiuso in un campo magnetico, generato da una calamita o viceversa. Queste macchine erano conosciute col nome generale di macchine MAGNETO ELETTRICHE, perchè in esse la generazione della corrente era dovuta all'azione di un magnete permanente su un circuito metallico che si muoveva nel suo campo.

Per il primo Pixii, nel 1832, costruì una macchina in cui un magnete a ferro di cavallo girava rapidamente intorno ad un asse verticale innanzi ai poli di un elettromagnete fisso, generando, nell'avvolgimento fatto su questo, delle correnti semplicemente alternate.

Nel 1833 Ritchie e nel 1836 Clark costruirono macchine identiche alla precedente, con la semplice modificazione del magnete permanente, che creava il campo, e che era fisso mentre le spirali nelle quali si induceva la corrente erano mobili.

Nel 1848 Siemens costruì una macchina in cui, all'elettromagnete mobile, sostituì un rocchetto con anima di ferro a forma di doppio *T*, migliorando, di molto, il rendimento dell'apparecchio.

Finalmente, al magnete permanente, che costituiva il campo induttore, venne sostituito un elettromagnete, ed in tal modo si rese possibile il raggiungimento di intensità di campo molto più forti di quelle a cui prima si perveniva, e così si passò, insensibilmente, dalle macchine MAGNETO ELETTRICHE a quelle conosciute, più propriamente, sotto il nome di DINAMO ELETTRICHE, in cui il magnete permanente è sostituito da un elettromagnete.

Nel 1864 Vilde costruì una macchina in cui il circuito indotto aveva la forma a doppio *T* del Siemens ed il circuito inducente era costituito da un elettromagnete, che veniva eccitato da una piccola macchina eccitatrice, la corrente della quale veniva raddrizzata per mezzo di un commutatore. Questa macchina rappresenta un progresso sensibile sulle precedenti, perchè fino alla sua invenzione la eccitazione era fornita dalla corrente di una pila.

Finalmente Pacinotti, il cui nome resterà immortale negli annali dell'elettrotecnica, con l'invenzione del collettore, permise, per il primo, che la corrente, generata dalle dinamo potesse direttamente utilizzarsi sotto forma di corrente continua e non di corrente alternata come fino a quell'epoca si praticava.

Al grande professore dell'ateneo Pisano, gloria dell'Italia risorta a nazione novella, la elettrotecnica moderna è debitrice delle più belle, delle più meravigliose invenzioni, perchè fino al giorno della invenzione della Dinamo a corrente continua, essa pur progredendo continuamente, rimaneva solo soggetto di speculazione puramente scientifica ma non invadeva il campo industriale; le scoperte che si seguivano l'una all'altra, ed alcune anche

di importanza grandissima, rimanevano solo nel dominio degli scienziati ma il popolo non ne apprezzava l'importanza. Quando, per opera sua, fu resa possibile la trasformazione diretta dell'energia meccanica in energia elettrica, e la prima dinamo a corrente continua fu lanciata sul mercato industriale, allora la elettrotecnica cominciò a fare passi giganteschi e permise quel succedersi di invenzioni mirabili, che han fatto restare scossi quegli stessi, che maggior fiducia addimostravano nel suo splendido avvenire.

Con la dinamo si ha a disposizione una macchina che produce una quantità grandissima di energia, con una costanza invidiabile, con un risparmio di spazio grandissimo, ad un prezzo irrisorio in confronto a quello che veniva, e viene a costare l'energia prodotta dalle pile, e finalmente con la eliminazione completa di liquidi nocivi e di esalazioni pestilenziali che non sono certamente igieniche.

Il principio su cui è basato il funzionamento di una dinamo elettrica è semplicissimo, ed è già stato da noi studiato in tutta la sua complessità, non ci resta, quindi, che a vederne la sua applicazione, come era conosciuto da moltissimi anni prima che al Pacinotti venisse la idea genialissima della sua applicazione alla macchina ad anello che da lui ha preso il nome.

Una spira di filo conduttivo, che gira in un piano normale alle linee di forza di un campo magnetico uniforme, risente l'azione del campo stesso, il quale induce in essa una corrente la cui espressione è data da:

$$e = E \, sen \, mt$$

in cui E è il valore massimo della forza elettromotrice, ed m è un coefficiente che dipende dal numero di giri, che quella spira compie nell'unità di tempo.

A questa conclusione si arriva tanto se si considera che l'asse, intorno a cui gira la spira, coincida con l' asse della spira stessa, quanto se si suppone che detto asse sia esterno alla spira, che, col movimento, diventa sede della corrente elettrica.

Per convincersi di ciò basta ripetere parola per parola quanto si è detto, nel volume precedente, a riguardo del primo caso menzionato, per vedere che il ragionamento non muta per nulla con la novella supposizione , e che la conclusione alla quale si arriva è perfettamente identica.

La energia, di cui è trasformazione quella elettrica, che si genera, è quella che devesi spendere di più per tenere in rotazione la spira nel campo magnetico, per le reazioni che si generano fra questo ed il campo magnetico dovuto alla corrente che viene a manifestarsi nella spira; reazione che tenderebbe ad opporsi al movimento per la legge di Lenz, a cui noi accennammo nel primo volume di questo trattato, e che è conseguenza diretta del principio della conservazione della energia.

La corrente che si genera in quella spira è una corrente ALTERNATA O SINUSOIDALE; è una corrente, cioè, che non si mantiene costante nel suo valore, ma cambia, ad ogni istante, di valore: partendo dallo zero va man mano crescendo fino a raggiungere il valore massimo, poi diminuisce con la medesima legge, ripassando per tutti i valori che prima ha assunti, fino a raggiungere lo zero: arrivato a questo valore cambia di segno, ossia di direzione, e cresce novellamente, nella nuova direzione fino a raggiungere un valore massimo eguale al valore massimo precedentemente considerato, ma di senso contrario; poi decresce novellamente, sempre con la medesima legge, fino a raggiungere novellamente lo zero. Assume cioè tutti i valori delle ordinate della curva *A B C D E* rappresentate nella figura 7.ª Tutti questi valori sono otte-

nuti in un giro completo della spira, considerando lo inizio del movimento nell'istante in cui le linee di forza del campo magnetico induttore cadono normalmente al piano della spira.

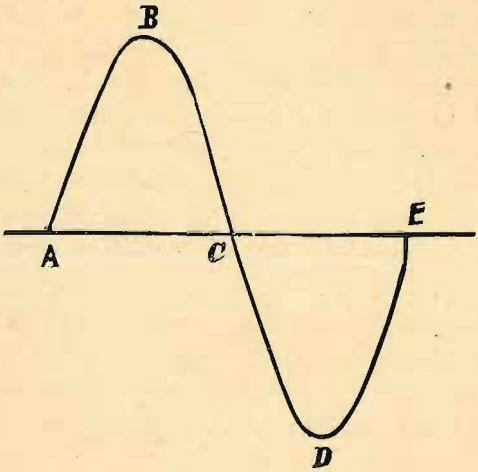


Figura 7.ª

Se si fa continuare il movimento della spira, sempre nel medesimo verso, si riproducono i medesimi valori della corrente, ottenendosi una curva simmetrica alla precedente, ed in continuazione di essa.

È evidente, che, se, invece di una sola spira, se ne avvolgessero diverse tutte della medesima grandezza, e con un filo conduttivo unico senza interruzzione, agli estremi delle spire si otterrebbe una differenza di potenziale, la quale seguirebbe come andamento quello che or ora abbiamo studiato, ma che, come grandezza, sarebbe eguale alla somma di quelle che si possono ottenere da ciascuna spira sola.

Ecco l'embrione di una dinamo elettrica.

Per raccogliere la corrente basta saldare il principio della prima spira ad un anello metallico, e la fine dell'ultima spira ad un altro anello metallico isolato dal primo; calettare i due anelli sull'asse di rotazione delle spire e poggiare sui due anelli due spazzole conduttive da cui si può inviare la corrente in un circuito di utilizzazione.

La corrente, che così si ottiene, è però una corrente, che, come abbiamo visto, non presenta costanza nè di grandezza, nè di direzione; è, cioè quella che, industrialmente, al giorno di oggi, è conosciuta sotto il nome di CORRENTE ALTERNATA.

Se la tecnica delle correnti alternate fosse stata egualmente conosciuta come quelle delle corrrenti continue, già da anni moltissimi avremmo avuto le macchine industriali, che oggi sono conosciute sotto il nome di ALTERNATORI, e che, per questa deficienza nella tecnica delle applicazioni sono state adottate nella pratica molto tempo dopo che le dinamo a corrente continua avevano già conquistato il campo delle industrie.

A causa di questa ignoranza si brancolò, per diversi anni, nel buio per trovare un ripiego come ottenere la trasformazione in CORRENTE CONTINUA dalla CORRENTE ALTERNATA, problema, che, in quell'epoca, risultava abbastanza complesso, perchè si doveva, non solo provvedere a rendere la corrente sempre del medesimo senso, ma anche, e sopratutto, a renderle quella costanza di grandezza, che è la caratteristica essenziale della corrente continua.

Il Pacinotti ottenne, in modo semplicissimo, la risoluzione del duplice problema, rendendo alla industria una macchina, che, fin dal primo momento, è risultata perfetta ed industriale; una macchina della quale egli ebbe, fin dal primo momento, la chiara visione non solo della

parte industriale ma anche, e sopratutto della parte, tecnica che alla soluzione medesima lo aveva fatto provenire.

Ecco la dimostrazione del modo di funzionare dell'anello Pacinotti.

Il primo problema da risolvere era quello di ottenere una corrente la quale, pur variando di grandezza, conservasse sempre la medesima direzione, una corrente cioè che conservasse sempre il medesimo senso, una corrente per cui il polo positivo della macchina si mantenesse sempre tale e non fosse, come nelle macchine a corrente alternata, un istante polo positivo, e l'istante successivo polo negativo e così di seguito.

Per raggiungere tale scopo il Pacinetti invece di adoperare due anelli conduttivi, isolati fra di loro, a cui facessero capo i due estremi della spira che si considera, adoperò un solo anello, il quale invece di essere un tutto unico era diviso in due parti della medesima grandezza, era diviso cioè in due semianelli. I due semianelli, così ottenuti, invece di essere in contatto metallico l'uno con l'altro, erano separati da due strati di sostanza isolante, in modo che le due parti dell'anello non avevano alcuna comunicazione conduttiva e che, quindi, la corrente da uno di essi non si poteva propagare all'altro per l'impedimento che trovava negli strati di isolante interposti.

Le due spazzole, dalle quali si prende la corrente, per inviarla nel circuito esterno, sono disposte nel piano normale alla direzione delle linee di forza, in quel piano nel quale, quando si trova la spira, la differenza di potenziale ai suoi estremi assume il valore zero.

Allora avviene che la spazzola, che era in contatto con uno dei due semianelli, passa in contatto con l'altro semianello nell'istante successivo a quello in cui la differenza di potenziale ha il valore zero, nell'istante cioè in cui avviene la inversione del senso della corrente, ed ap-

punto per questa doppia inversione, nella spazzola che si considera continua a passare la corrente sempre nel medesimo senso. Il piano, nel quale sono situate le spazzole, e nel quale avviene la commutazione del senso della corrente nel circuito esterno, porta perciò il nome di PIANO DI COMMUTAZIONE.

La COMMUTAZIONE però, avviene solo nel circuito esterno e ciò si rileva bene da quanto si è detto or ora, mentre nella spira, che abbiamo considerata, la corrente conserva la forma alternata.

Da quanto precede, risulta che la differenza che esiste fra macchine a corrente continua, e macchine a corrente alternata risiede solo nell' impiego dell' anello sezionato, che trasforma il senso della corrente nel circuito di utilizzazione, mentre nel circuito di produzione si mantiene, in entrambi i tipi di macchine, la corrente sempre con la forma alternata.

I due anelli continui della macchina a corrente alternata, o l' anello unico sezionato della macchina a corrente continua, perchè servono a raccogliere la corrente per utilizzarla nel circuito esterno, portano il nome di COLLETTORI.

Per meglio comprendere il modo col quale avviene il raddrizzamento della corrente, al di là del collettore sezionato, riferiamoci a quanto è rappresentato nella figura 8.ª.

Nel girare della spira, la spazzola superiore si trova, in un determinato istante in contatto con il semianello *a* e quella inferiore con semianello *b*; la corrente esce dal primo e per la spazzola *A* si dirigge nel circuito esterno dal quale rientra nella spira per la spazzola *B* e pel semianello *b*. Quando, col girare della spirale, questa arriva nel piano normale alle linee di forza, in cui la forza elettromotrice passa per lo zero, in questo piano si porta

anche la parte isolante, che separa i due semianelli ed in questo istante la differenza di potenziale ha il valore zero.

Nell'istante successivo la corrente, nella spirale, si inverte di segno, ed allora se le spazzole avessero mantenuto il contatto coi primitivi anelli la corrente, invece di uscire dalla spazzola *A* e rientrare per la *B*, sarebbe uscita dalla *B* ed entrata per la *A*; ma siccome in quest'istante la spazzola *A* è venuta in contatto con il settore *b*, la corrente, uscendo da *b* continua ad attraversare *A* nel medesimo senso, e nel circuito esterno conserva il primitivo senso cioè la forza elettromotrice rimane sempre positiva.

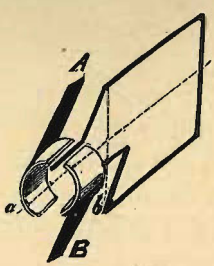


Figura 8.ª

In tal modo si è risoluta la prima parte del problema, perchè invece di avere una corrente che per mezzo giro della spira era positiva e per l'altro mezzo giro era negativa, si ha una corrente che è sempre positiva, ma non è costante, perchè passa due volte per lo zero, poi cresce fino ad un massimo per diminuire in seguito e per riportarsi allo zero. Si ha, cioè, una corrente che potrebbe chiamarsi PULSANTE.

Per ottenere la risoluzione della seconda parte del problema, cioè, per ottenere una corrente che si mantenga costante nel suo valore per tutta la durata della sua produzione ecco in che modo si procede.

Se alla prima spirale ne aggiungiamo una seconda, identica come forma e grandezza, ma disposta in una direzione normale e adottiamo il medesimo dispositivo si genererà, in questa seconda spirale, una corrente identica a quella che innanzi abbiamo studiata, e che sarà anche essa tutta positiva ma pulsante.

I valori, però, delle due correnti non si corrisponde-

ranno; la seconda avrà lo zero nell'istante che la prima avrà il massimo e viceversa, se entrambe le spire si fanno rotare contemporaneamente con la medesima velocità.

Se noi riuniamo queste due spire in serie con ciò otteniamo, è evidente, una forza elettromotrice che è la somma delle due forze elettromotrici elementari.

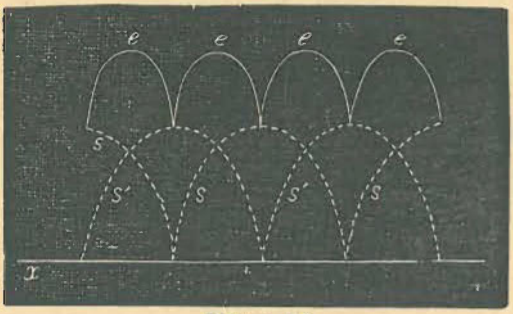


Figura 9.ª

Ispezionando la figura 9.ª si vede che la curva risultante rappresentata con un tratto continuo, è una curva che non passa mai per lo zero, ma oscilla fra massimi e minimi molto più ravvicinati delle curve componenti. Si otttiene, quindi, in tal modo, una forza elettromotrice che più si avvicina a quella continua, à il minimo valore disponibile eguale al massimo valore che si otteneva con una sola spira, minimo che si riscontra quattro volte in un giro completo, perchè in un giro completo si hanno due valori zero per ciascuna delle due spire.

Dall'esame del diagramma, che si allega, si vede la ampiezza dell'oscillazione, nel caso delle due spire, è diminuita ma ne è aumentato il numero.

Se si aggiungono altre due spire nelle bisettrici degli angoli retti formati dalle due spire primitive e si ripete lo stesso ragionamento, si arriva ad un'altra curva rappresentativa della forza elettromotrice in cui il numero

delle oscillazioni sarà ancora aumentato, ma la ampiezza delle oscillazioni sarà di gran lunga diminuita.

E così, aumentando sempre il numero delle spire in modo da ricoprire tutta la periferia del cilindro su cui è avvolto la spira che prima abbiamo considerato, si ottiene una forza elettromotrice la cui ampiezza di oscillazione è talmente piccola che non può determinarsi neppure con apparecchi sensibilissimi, e che si può ritenere industralmente come perfettamente continua, che abbia cioè la forza elettromotrice costante non solo come senso ma anche come valore.

Invece di adoperarsi tanti collettori separati, si adopera un solo anello sezionato in tante parti, dette SBARRE, per quante sono le spire che si considerano.

Per tale ragione a misura che aumentano le spire devesi aumentare il numero DELLE SEZIONI O SBARRE DEL COLLETTORE, e, propriamente, queste debbono essere in numero eguale a quello delle spire, salvo casi speciali, dovuti a particolari disposizioni.

Le spazzole, qualunque sia il numero delle spire, si situano sempre nel piano normale alle linee di forza, piano che porta il nome di PIANO TEORICO DI COMMUTAZIONE, perchè, nel passaggio per esso, la corrente cambia di segno. Vedremo or ora la ragione per cui si è aggiunto quell' epiteto di teorico.

L' insieme delle spire, nelle quali si genera la corrente, a causa del movimento, viene indicato col nome di ARMATURA. Di queste ne esistono due forme principali, quella in cui le spire che la costituiscono girano intorno ad un asse coincidente con il loro asse geometrico, e che dicesi ARMATURA CILINDRICA O A TAMBURO, e quelle in cui le spire girano intorno ad un asse esterno alla loro superficie e che dicesi ARMATURA ad ANELLO. Questi due nomi derivano dallo aspetto che assume l' armatura, e non sono i soli

coi quali esse si conoscono, ma la prima si distingue anche con la denominazione di ARMATURA SIEMENS e la seconda di ARMATURA PACINOTTI, dal nome degli inventori, e quest' ultima, dai denigratori del Pacinotti, viene anche chiamata ARMATURA GRAMME.

Quanto finora abbiamo dimostrato può dedursi anche in un modo molto più semplice e molto più comprensivo. Per riuscire più chiari consideriamo quello che avviene quando le spire, che si considerano, invece di girare intorno ad un asse, che passa per il proprio centro, girano intorno ad un asse esterno ad esse. Tutto il resto, come generazione di corrente e come raccolta mediante le sbarre del collettore e le spazzole su di esse poggiate, è perfettamente identico a quanto si è detto per le spire che giravano intorno all'asse passante pel centro.

Nei riguardi della direzione della corrente nelle diverse spire, è chiaro che tutte quelle che si trovano a destra del diametro di commutazione sono percorse dalla corrente in un determinato senso e tutte quelle che si trovano a sinistra sono percorse da una corrente di senso contrario.

Però nelle spire che si trovano da una medesima parte del diametro di commutazione la corrente, pur mantenendosi del medesimo senso, non può conservare la medesima grandezza: essa è minima nelle spire vicino al diametro di commutazione e va man mano crescendo fino ad arrivare al valor massimo nella spira situata normalmente ad esso, per poi diminuire e ritornare al valor minimo nella spira che si trova, nella parte opposta, nelle vicinanze del diametro di commutazione.

Tutte queste spire sono riunite in serie, perchè, sulle sbarre del collettore, dove termina la prima spira, comincia la seconda, e così via; dunque tutte le diverse forze elettromotrici da esse date si sommano, e perciò esiste

alle estremità di questo semianello una forza elettromotrice eguale alla somma delle forze elettromotrici elementari delle diverse spire.

Se ci considera, poi, che gli aumenti che si riscontrano nel primo quadrante sono perfettamente eguali alle diminuzioni, che si hanno nel secondo quadrante, si arriva alla conclusione che la forza elettromotrice, generata nella semiarmatura, è costante, perchè ogni aumento è compensato da un'eguale diminuzione, e si ha una forza elettromotrice che è eguale alla media delle forze elettromotrici generate nel primo quadrante.

Quello che si è detto per la prima semicirconferenza si ripete identicamente per la seconda e si arriva alla medesima conclusione di una forza elettromotrice costante ed eguale ma di segno contrario alla precedente. Le spazzole quindi non fanno che raccogliere la corrente fornita dalle due semiarmature riunite in parallelo.

Le spazzole, restando ferme nella posizione del diametro di commutazione, raccoglieranno sempre la medesima differenza di potenziale, perchè con il girare dell' anello le condizioni delle spire, rispetto ad esse, si ripetono sempre identicamente; ed in tal modo si riesce ad ottenere una corrente la quale è perfettamente continua.

Da quanto si è detto, però, risulta che quando il circuito esterno è aperto, pur avendosi una differenza di potenziale fra le spazzole, non si ha nessuna corrente che circoli nello interno dell'armatura, perchè le correnti che si generano nelle due semiarmature sono eguali ma di segno contrario. Quando invece si chiudono le spazzole sopra uno circuito di utilizzazione, allora le due correnti di segno contrario si sommano nel circuito esterno e si ha la manifestazione della corrente.

Si ha, in una parola, lo stesso fenomeno che si aveva

quando si riunivano in parallelo due pile che davano la medesima forza elettromotrice; in esse non si aveva manifestazione di corrente quando il circuito esterno era aperto, e quando questo era chiuso le due correnti si sommavano

Dunque le due semiarmature sono riunite in parallelo sotto le spazzole: ed allora se si indica con r la resistenza di tutto il filo di rame, che costituisce l'avvolgimento dell'armatura, la resistenza della semiarmatura sarà $\frac{1}{2} r$ e la resistenza complessiva dell'armatura, ossia la resistenza che si riscontra fra le spazzole, per la legge dei circuiti derivati, sarà $\frac{1}{4} r$.

Tutto quello che si è detto per le spire che girano intorno ad un asse eccentrico e che costituiscono quella che chiamasi ARMATURA AD ANELLO, può ripetersi identicamente, per le spire che ruotano intorno ad un asse che passa per il loro centro e che costituiscono l' ARMATURA CILINDRICA, con la semplice avvertenza, che, invece di considerare le spire che si trovano nelle due semicirconferenze, poichè ciascuna spira ha un lato in una semicirconferenza ed il lato opposto nell'altra semicirconferenza, bisogna considerare, come appartenenti ad un circuito, le spire che hanno il loro principio in una delle due semicirconferenze, ed, allora, ripetendo, con questa modificazione, parola per parola, quanto or ora si è detto, si arriva alla medesima conclusione della forza elettromotrice costante e delle due semiarmature riunite in parallelo sotto le spazzole.

La formola che dà la forza elettromotrice di una dinamo a corrente continua è la seguente

$$E = nN\varphi$$

in cui n è il numero di giri che le spire fanno a minuto primo, N è il numero di spire che si muovono e φ è il flusso magnetico che attraversa quelle spire (1).

---

(1) Allorchè la spira si trova nella direzione normale alla linea di forza è attraversata dal flusso massimo $\frac{\varphi}{2}$, perchè nell' armatura ad anello il flusso totale si divide in due parti eguali attraverso i due semianelli (superiore ed inferiore): quando si trova nella direzione delle linee di forza è attraversata invece dal flusso zero: la variazione dunque di flusso, avvenuta in un quarto di giro, è da $\frac{\varphi}{2}$ a zero, ossia di $\frac{\varphi}{2}$.

Se la spira fa n giri a minuto secondo, un giro sarà fatto nel tempo $\frac{1}{n}$ ed un quarto di giro in $\frac{1}{4n}$, per cui la forza elettromotrice indotta media, che deve essere eguale alla variazione di flusso divisa per il tempo impiegato a produrla sarà

$$e = \frac{\frac{\varphi}{2}}{\frac{1}{4n}} = 2\varphi n$$

Nel caso che ci siano N spire e consideriamo che metà di esse sono quelle che concorrono a dare il valore della forza elettromotrice, perchè le due metà sono riunite in parallelo sotto le spazzole, si arriva alla conseguenza che la forza elettromotrice dovrà essere $\frac{N}{2}$ volte maggiore della precedente, cioè.

$$e = 2\varphi n \times \frac{N}{2} = nN\varphi.$$

Nel caso dell' armatura cilindrica si arriva al medesimo risultato, perchè mentre, da una parte, il flusso, che attraversa le spire, è doppio del precedente, dall'altra, a parità di fili avvolti sull armatura, il numero di spire risulta metà del precedente, perchè, mentre nell'avvolgimento ad anello due fili diametralmente opposti dell' anello costituiscono due spire, chiudendosi esse nella parte interna dell' anel-

RIASSUNTO

Cenno storico sulle dinamo a corrente continua e loro superiorità incontrastata sulle pile. — Una spira rettangolare, che gira intorno al proprio asse è sede di una forza elettromotrice sinusoidale. — Il commutatore, inventato dal Pacinotti, serve a mantenere invariata la direzione della corrente nel circuito esterno pur rimanendo variabile la sua grandezza. — Aggiungendo diverse spire e frazionando il collettore in tante sbarre quante sono le spire e situando le spazzole nel piano di commutazione, che è quel piano nel quale avviene la inversione della corrente, si arriva ad ottenere una corrente perfettamente continua nel circuito esterno. — Armatura cilindrica e armatura ad anello. — La resistenza dell'armatura è la quarta parte della resistenza totale del filo di rame avvolto su di essa,

---

lo, nell' indotto cilidrico due fili diametralmente opposti costituiscono una sola spira.

Ed allora la variazione di flusso in un quarto di giro essendo φ ed il tempo impiegato a produrla essendo $\frac{1}{4n}$ si ha la forza elettomotrice

$$e = 4\varphi n$$

ma con N fili sulla periferia dell'armatura si hanno $\frac{N}{4}$ spire in una semi armatura, dunque la forza elettromotrice libera alle spazzole è anche

$$e = 4n\varphi \times \frac{N}{4} = nN\varphi.$$

perchè ogni armatura è composta di due circuiti eguali riuniti in parallelo sotto le spazzole.—Forza elettromotrice generata da una armatura.

CAPITOLO II.

Parti costitutive di una Dinamo

In una dinamo a corrente continua vi è bisogno di un campo magnetico nel quale si muovono le spire in cui si genera la corrente, e di un circuito nel quale debbono generarsi tali correnti. Si hanno, quindi, due parti essenzialissime: un campo magnetico di eccitazione ed un circuito indotto detto anche ARMATURA.

Il campo magnetico inducente si può ottenere in due modi sia con un magnete permanente che con un elettromagnete. Le prime dinamo, conosciute sotto il nome di DINAMO MAGNETO-ELETTRICHE, avevano il campo generato da un magnete permanente: esse, però, ben presto, cedettero il posto a quelle col campo generato da un elettromagnete; perchè le prime non solo non mantenevano costante; la intensità di campo, per la certezza della di minuzione e per la possibilità della perdita della magnetizzazione dei magneti permanenti.

Le DINAMO ELETTRICHE, propriamente dette, sono quelle in cui il campo magnetico è costituito da un' elettrocalamita, che, non solo, permette di mantenere costantemente invariato il valore della intensità del campo, ma anche di raggiungere valori molto superiori a quelli che, con i magneti permanenti, si possono ottenere.

Nelle DINAMO ELETTRICHE si hanno, quindi, due circuiti elettrici separati: uno per la creazione del campo inducente, detto perciò CIRCUITO INDUCENTE, o anche CIRCUITO

DI ECCITAZIONE, e l'altro CIRCUITO INDOTTO, O CIRCUITO DI ARMATURA.

La corrente, che serve per la magnetizzazione e che chiamasi anche CORRENTE DI ECCITAZIONE O CORRENTE INDUCENTE, può essere fornita sia da una sorgente esterna, che dalla dinamo stessa: nel primo caso la dinamo si dice ad ECCITAZIONE INDIPENDENTE nel secondo caso, AUTOECCITATRICE.

Le prime dinamo elettriche furono tutte costruite con eccitazione indipendente e per esse non vi è bisogno di fare alcuna considerazione, perchè non vi è nessuna difficoltà a supporre come si possa inviare in una elica di filo conduttivo, avvolta su un nucleo magnetico, la corrente generata da una sorgente di qualsiasi natura essa sia. Per quelle, invece, autoeccitatrici bisogna spiegare il modo di funzionamento, specialmente nel momento della messa in moto, quando cioè la dinamo non produce ancora alcuna corrente e per conseguenza sembrerebbe, a prima vista, che, non essendovi corrente nel circuito di eccitazione, non potrebbe mai iniziarsi la produzione della corrente nel circuito indotto, mancando uno degli elementi essenziali per il funzionamento, cioè il campo inducente.

La difficoltà, però, sparisce immediatamente quando ricordiamo quello che abbiam detto parlando della magnetizzazione dei corpi magnetici. Un materiale magnetico, dopo aver subito anche per una volta sola la magnetizzazione, conserva tracce di essa anche dopo che la forza magnetizzante è scomparsa, anzi, a questo magnetismo, che persiste nel corpo, abbiam dato, proprio per tale ragione, il nome di MAGNETISMO RESIDUO.

Ed appunto sul MAGNETISMO RESIDUO si fonda il funzionamento delle dinamo a corrente continua autoeccitatrici. Per effetto di esso, i nuclei degli elettromagneti presen-

tano una piccolissima magnetizzazione, che genera, un debolissimo campo magnetico inducente.

Le spire dell'armatura, nel girare in esso, diventano sede di una piccola corrente indotta, che, se si costringe ad andare tutta nel circuito di eccitazione, rinforza la magnetizzazione dei nuclei, aumenta la intensità del campo magnetico, e provoca di conseguenza un aumento nella corrente che si genera nell'armatura e che andrà ad aumentare quella del circuito di eccitazione. Così per successivi aumenti della forza elettromotrice, generata dall'armatura e della intensità di campo magnetico prodotto dal circuito di eccitazione, la forza elettromotrice va man mano avvicinandosi al valore normale, raggiunto il quale la dinamo è pronta a funzionare regolarmente.

Le spire indotte o dell'armatura possono, come già abbiamo accennato, assumere una duplice forma, ma ciò nei riguardi della produzione della forza elettromotrice non produce alcuna variazione o si avvalgono sopra un nucleo a forma cilindrica, seguendo le generatrici e raccordandosi, sulle due faccie normali all'asse, o su un nucleo ad anello avvolgendosi a spirale su di esso.

Il nucleo lo si fa di ferro laminato, per evitare le correnti di Foucoult, che arriverebbero a valori rilevantissimi data la velocità con la quale l'armatura si deve muovere, per avere un rendimento elevato, e data la forma sinusoidale o quasi che la corrente nell'interno dell'armatura presenta. Questa suddivisione, dovendo impedire la generazione di tali correnti, deve essere fatta in modo da impedire il chiudersi del circuito lungo il nucleo, ed allora, nel caso del nucleo a cilindro o come suol dirsi a tamburo, questo deve essere costituito da tanti dischi circolari, soprapposti l'uno all'altro e ben serrati con bulloni, e nel caso dell'indotto ad anello il nucleo deve essere costituito da un fascio di fili di ferro

che vengono ben stretti mediante fasciature metalliche, in modo da non permettere deformazione per effetto della forza centrifuga.

La parte non occupata dal ferro fra i nuclei degli induttori e quello dell'armatura, composta per una porzione dell'aria che deve permettere il libero ruotare dell'armatura, e per l'altra dai fili di rame che sono avvolti sull'armatura, porta il nome di INTERFERRO o di INTRAFERRO, perchè situata in mezzo a nuclei di ferro.

È inutile dire che la presenza del ferro non è essenziale; si possono avere dinamo senza ferro nè nel circuito inducente, nè in quello indotto, anzi per quello inducente potrebbesi anche ottenere l'eccitazione mediante il campo magnetico terrestre.

Nel caso, però, che si volesse adoperare la corrente generata dalla dinamo per provocare il campo magnetico senza uso di nuclei di ferro, perchè la corrente cominci a prodursi, bisogna, nel primo momento, creare questo campo con un mezzo esterno sia elettrico che magnetico. Ma ciò non basta: perchè la dinamo non perda la sua eccitazione bisogna che essa non diminuisca la velocità al di sotto di un determinato limite, perchè se ciò avvenisse, qualunque eccitazione esterna momentanea si potesse impiegare, essa verrebbe rapidamente perduta: nè la si aumenti al di là del conveniente, perchè verrebbe rapidamente accrescendosi finchè non accadesse qualche fenomeno antagonista che impedisse un accrescimento ulteriore, per esempio un riscaldamento nei conduttori, o delle perdite per derivazioni. In ciò si ha una imperfetta analogia con quello che si riscontra nelle macchine elettrostatiche.

Oltre a ciò, per ottenersi una forza elettromotrice abbastanza elevata, bisognerebbe spingere la velocità a limiti troppo alti, non consentiti dalla coesione dei mate-

riali, e perciò si otterrebbe una potenza piccolissima in modo da non renderla assolutamente industriale. Infatti, adoperando come campo di eccitazione quello terrestre si avrebbe la potenza di un watt per ogni tonnellata di materiale impiegato.

Per tale ragione, tanto nel circuito inducente quanto nel circuito indotto si adoperano nuclei di ferro lasciando all'interferro il minimo spessore compatibile con le necessità costruttorie e con lo avvolgimento dell'armatura.

Una parte importantissima dell'armatura è rappresentata dal COLLETTORE, alle cui sbarre vanno a terminare le spire dell'armatura. Questa riunione delle diverse spire è fatta in modo che dalla sbarra, a cui arriva la fine della prima spira, cominci la seconda; da quella a cui finisce la seconda cominci la terza e così via. Sul COLLETTORE O RADDRIZZATORE poggiano due spazzole situate agli estremi di un diametro della sezione dell'armatura e ad esse viene ad essere attaccato il CIRCUITO ESTERNO, ossia il circuito nel quale si utilizza la energia generata dalla dinamo.

Le spazzole debbono avere tale spessore che non debbono lasciare una sbarra del collettore senza essere venute in contatto con la successiva: debbono, cioè, avere uno spessore di poco superiore a quello dello strato isolante che separa le diverse sbarre del collettore, perchè, in caso contrario, si avrebbero tante interruzioni di corrente per quanti sono i passaggi delle spazzole sui diversi strati di isolante.

Per il buon rendimento della dinamo, l'interferro deve presentare il minimo spessore possibile, perchè, presentando tanto l'aria quanto il rame una permeabilità piccolissima rispetto a quella del ferro, si viene, a parità di eccitazione, a diminuire il campo utile nell'armatura con l'aumentare l'interferro.

Però questo non può ridursi al di sotto di un dato limite, perchè, da una parte, i fili avvolti sull'armatura non possono diminuire di diametro al di là di un dato limite, perchè finirebbero col produrre un aumento sensibile di energia perduta per effetto calorifico, e dall'altra non si può diminuire il gioco, perchè basterebbe un piccolo consumo nei cuscinetti di appoggio dell'asse dell'armatura, perchè i fili dell'armatura strisciassero lungo le masse polari e col deteriorare le condizioni dell armatura stessa.

Per ottenere, a parità di gioco, fra le masse polari e il nucleo dell'armatura, un effetto utile maggiore, il Cabanellas propose e la sua proposta fu realizzata nella DINAMO FRITSCHE, di fare di ferro anche i conduttori avvolti sull'armatura e nei quali si genera la corrente, per diminuire, in tal modo, la resistenza magnetica, dimi nuendo lo spazio occupato da materiale poco permeabile.

Però questo tentativo non sortì buoni risultati, perchè, se, da una parte, si veniva a rinforzare il flusso attraverso l'armatura per la diminuzione dell'interferro, e quindi veniva ad aumentarsi la forza elettromotrice generata, dall'altra parte la resistenza elettrica dell'armatura veniva grandemente aumentata, essendo il ferro molto più resistente del rame, a parità di dimensioni, e venivano manifestandosi perdite per isteresi anche nei fili dell'indotto, in modo da far sì che in complesso la dinamo, così modificata, presentava un rendimento molto inferiore a quello delle ordinarie dinamo con l'avvolgimento indotto formato con filo di rame.

RIASSUNTO

Circuito inducente e circuito indotto. — Nelle dinamo magneto-elettriche il campo magnetico è generato da un magnete permanente: nelle dinamo

elettriche da un elettromagnete. — Le dinamo elettriche possono essere ad eccitazione indipendente od autoeccitatrici: nelle prime la corrente magnetizzante è fornita da una sorgente indipendente; nelle seconde, dalla dinamo stessa. Il magnetismo residuo degli elettromagneti dà il primo debole campo in cui muovesi l'armatura e permette l'inizio della generazione della corrente indotta, che poi va man mano rafforzandosi per effetto della corrente indotta che nell'armatura stessa si genera. — Lo spazio che trovasi fra le espansioni polari e il nucleo dell'armatura porta il nome di interferro. — Scarso rendimento delle dinamo senza nuclei di ferro. — Dinamo Fritsche con i circuiti di armatura costituiti da filo di ferro e suo rendimento bassissimo.

CAPITOLO III.

Diversi sistemi di autoeccitazione

In una dinamo, in funzionamento, oltre al CIRCUITO DI ECCITAZIONE ed a quello INDOTTO, si deve considerare anche il CIRCUITO ESTERNO o di UTILIZZAZIONE e dal diverso nodo di collegamento di questi tre circuiti si hanno diverse specie di dinamo.

Ciò vale, però, solo per le dinamo autoeccitatrici, perchè in quelle ad eccitazione indipendente non si può avere che un' unica disposizione.

Se i tre circuiti sono messi l'uno in seguito dell'altro, in modo da avere un unico circuito, si ha la DINAMO IN SERIE O DINAMO CON ECCITAZIONE IN SERIE.

In essa uno degli estremi del circuito di eccitazione

è unito ad una spazzola, l'altro estremo al circuito esterno, mentre l'altra spazzola è legata direttamente al circuito esterno. In essa, quindi, i tre circuiti ne costituiscono uno solo perchè, partendo da una spazzola, si percorre la eccitazione poi si va al circuito esterno, e, da questo, per l'altra spazzola, si penetra nell' armatura, dopo di aver attraversata la quale si ritorna alla spazzola dalla quale si era partiti.

Se i tre circuiti terminano tutti e tre ai medesimi punti, si ha la dinamo ad eccitazione in DERIVAZIONE, in PARALLELO o in QUANTITÀ, perchè la eccitazione è derivata sia ai poli dell'armatura che del circuito esterno.

Se invece sul nucleo inducente si hanno due avvolgimenti uno unito in serie e l'altro in parallelo agli altri circuiti si ha la DINAMO COMPOUND O DINAMO AD ECCITAZIONE COMPOSTA.

Gli avvolgimenti da farsi sul circuito induttore debbono, però, rispondere a diversi requisiti a seconda del sistema di eccitazione che si presceglie: le norme da seguire in essi sono quelle che derivano dalle considerazioni del massimo rendimento, ossia del massimo effetto utile da ricavarsi dalla macchina, a parità di energia meccanica consumata.

La corrente, che si manda nelle eliche magnetizzanti, è, nelle dinamo autoeccitatrici, la corrente stessa generata dall' armatura: quanto maggiore è la energia in esse consumata, tanto minore è il lavoro utile che la dinamo può fornire; di quì la necessità di calcolare la eccitazione a seconda del tipo di dinamo per ottenere che la energia in essa consumata risultasse la minima possibile.

Nella dinamo eccitata in serie, formando i circuiti dell'armatura, degli induttori e di utilizzazione, un circuito unico, la corrente presenta, in tutti i punti, il medesimo

valore, e, quindi, per ottenere la massima intensità è necessario che la resistenza complessiva dei circuiti sia la minima possibile, e, per tale ragione, la resistenza del circuito di eccitazione dovrà essere piccolissima anche perchè, in tal modo, risulta minima la potenza perduta nel circuito di eccitazione e quindi massima quella utilizzata nel circuito esterno. Per ottenere tale risultato sui nuclei degl' induttori debbono avvolgersi poche spire di filo di rame di grosso diametro.

Nelle dinamo eccitate in derivazione i tre circuiti terminano tutti ai medesimi punti, e la intensità non ha più il medesimo valore in essi, ma assume tre valori distinti. La corrente, che circola nell'armatura, arrivata alle spazzole, si biforca: una porzione attraversa il circuito inducente e la rimanente va nel circuito esterno. Per conseguenza la corrente che si utilizza è tanto più piccola quanto più grande è la intensità derivata nelle eliche magnetizzanti.

Per ottenere la massima potenza nel circuito di utilizzazione bisogna, quindi, ridurre al minimo la intensità che circola nel circuito di eccitazione, e siccome la intensità, nei circuiti derivati, si divide in ragione inversa delle resistenze dei circuiti stessi, bisogna che il circuito di eccitazione presenti una resistenza grandissima rispetto a quella del circuito esterno, e perciò deve essere costituito da un numero grandissimo di spire di filo di rame di diametro molto piccolo.

Nelle dinamo ad eccitazione composta i due circuiti in serie ed in derivazione debbono rispondere ognuno, per parte sua, ai requisiti che dovrebbero avere se si trovassero da soli a costituire la eccitazione delle dinamo che si considerano.

Da quanto si è detto risulta, che, mentre nella dinamo ad eccitazione in derivazione la differenza di potenziale

agli estremi del circuito di eccitazione è identica a quella che si trova ai poli del circuito esterno e di quella dell'armatura, perchè tutti e tre terminano ai medesimi punti, in quella ad eccitazione in serie agli estremi della eccitazione, si trova una caduta di potenziale piccolissima, dovuta alla intensità che la attraversa ed alla propria resistenza: e siccome questa deve essere piccolissima, perchè la dinamo presenti un elevato rendimento, piccola risulterà la differenza di potenziale agli estremi della eccitazione.

Da tale osservazione si deduce, che, nella dinamo in derivazione, bisogna porre maggior cura nell'eseguire l'avvolgimento di eccitazione, perchè esso, sottostando ad una differenza di potenziale molto più elevata di quella della dinamo in serie, può più facilmente presentare delle dispersioni di correnti o dei corti circuiti fra le diverse spire sia direttamente che attraverso i nuclei degli induttori; corti circuiti di cui or ora vedremo i deleteri effetti nel funzionamento delle dinamo di qualunque specie esse siano.

RIASSUNTO

Le dinamo autoeccitatrici possono essere di tre specie: dinamo in serie, in derivazione e composte. — Nelle dinamo in serie i circuiti di eccitazione, di armatura e di utilizzazione formano un circuito unico. — Nelle dinamo in derivazione i tre circuiti sono derivati fra i medesimi punti. — La dinamo composta ha la riunione delle due eccitazioni: in serie ed in parallelo. — Nelle dinamo in serie l'avvolgimento di eccitazione, per ottenersi un buon rendimento, deve essere di piccolissima resistenza,

cioè di poche spire di filo molto grosso. — In quelle in derivazione, per la medesima ragione, il circuito di eccitazione deve presentare una grande resistenza, e perciò deve essere costituito da molte spire di filo sottile. — Nelle dinamo composte ciascuna eccitazione si calcola come se esistesse da sola. — Nelle dinamo in derivazione bisogna mettere maggiore cura nell'isolamento del circuito di eccitazione, perchè ai suoi estremi si riscontra tutta la differenza di potenziale che la dinamo fornisce, mentre in quelle in serie non si ha agli estremi di esso che una differenza di potenziale piccolissima e che non è che una frazione della differenza di potenziale che la dinamo fornisce.

Capitolo IV.

Dinamo multipolari

In una dinamo a corrente continua la differenza di potenziale ai poli dipende direttamente dal numero di spire N, dal flusso φ, e dal numero di giri n, che l'armatura compie per minuto nel campo inducente, cioè:

$$e = n\ N\ \varphi$$

Queste tre quantità, da cui dipende il valore della forza elettromotrice di una dinamo, non possono crescere illimitatamente, ma vi sono dei limiti oltre i quali è impossibile farle crescere, e, per conseguenza, anche la forza elettromotrice, generata, non può crescere indefinitamente.

Infatti, il flusso φ non può elevarsi al di là di quello che la saturazione del materiale, adoperato pei nuclei,

permette: aumentare ancora, quando si è raggiunta questa saturazione, la intensità della corrente nelle spire avvolte sui nuclei, significa fare un inutile spreco di energia, perchè non si ha che produzione di energia calorifica, e si raggiunge lo stesso effetto che si ottiene quando si continua a versare acqua in un recipiente già pieno: essa cade per terra, e non serve ad aumentare il volume del recipiente. Il numero delle spire N neppure lo si può aumentare indefinitamente, perchè esso dipende dalle dimensioni dell' indotto, che deve anche rispondere a condizioni speciali, e dal fatto che non si possono, sullo stesso indotto, avvolgere più di due strati di spire, perchè, altrimenti, si impedirebbe la dispersione del calore verso l'esterno e si determinerebbe in molto breve tempo, il deterioramento dell' isolante, e si aumenterebbe enormemente l' interferro, riducendo grandemente il valore del flusso e per conseguenza il valore della forza elettromotrice, che, invece, si vorrebbe far crescere.

Non resta, quindi, che il numero di giri n, che l' armatura compie a minuto secondo, ma anche esso, dipendendo dalla velocità dell' armatura, non può spingersi oltre il limite imposto dalla forza centrifuga in relazione alla coesione dei materiali di cui l' armatura è costituita.

I valori, a cui arriverebbe la forza elettromotrice, stando alle considerazioni ora fatte, sarebbero relativamente bassi, e si è cercato come aumentarli senza incorrere in alcuno degli ostacoli e degli inconvenienti ora lamentati.

Per ben comprendere quanto or ora diremo, ritorniamo a considerare il caso di una dinamo elementare composta da una sola spira

Nelle condizioni ordinarie, si ha una alternativa completa della corrente in un giro della spira, ossia nel tempo impiegato da essa a partire dal polo nord per ritornare novellamente innanzi allo stesso polo nord.

Finora noi abbiamo sempre supposto che il campo magnetico inducente fosse determinato da un magnete bipolare, supponiamo ora di avere un campo magnetico tetrapolare, composto, cioe, da quattro espansioni polari,

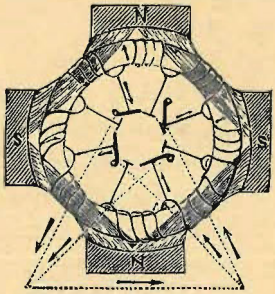


Figura 10.ª

che si seguono con le polarità in modo alternato: cioè un polo nord, uno sud, uno nord, uno sud, per poi ritornare novellamente al primo polo nord.

Anche in tal caso un'alternativa completa della corrente si ottiene nel passaggio di una spira da un polo nord al successivo polo nord, perchè sempre in questo passaggio si ottiene una completa variazione di flusso.

Se ciò è indiscutibile, ne viene come conseguenza, che, in un giro completo, si hanno due alternative di flusso e quindi due alternative di forza elettromotrice, per determinare le quali nella dinamo bipolare si dovevano compiere due giri.

Essendovi due campi distinti e avvenendo la commutazione della corrente due volte in un giro completo bisogna mettere due coppie di spazzole secondo due diametri normali passanti per le bisettrici degli angoli retti costituiti dagli assi delle quattro espansioni polari, per poter ottenere il raddrizzamento della corrente che presenta due alternative complete in un giro dell'armatura.

Ma vi ha di più: dal paragone di questa dinamo a quattro poli con una a due poli si vede che se si mantiene la velocità di rotazione all'identico valore di quella, si ha un numero di alternative doppio, cosa che si sarebbe ottenuta con la prima macchina raddoppiando la velocità, cioè raddoppiando il numero di giri. Si arriva, quindi, ad ottenere il raddoppiamento della forza elettromotrice generata.

Se, invece, si riduce la velocità a metà si ottiene la medesima forza elettromotrice.

Naturalmente aumentando il numero delle coppie di poli, il ragionamento resta identico: per ogni coppia si ha una alternativa completa della forza elettromotrice e quindi se indichiamo con p il numero delle coppie di poli la formola che ci dà la forza elettromotrice, che la dinamo può generare, mantenendo ad n il significato che fino ad ora ha avuto, è

$$e = p.\ n.\ N.\ \varphi$$

Aumentando il numero delle spazzole si viene alla conclusione che la dinamo multipolare non è altro che l'insieme di tante dinamo bipolari, ciascuna delle quali termina a due spazzole, che sono situate secondo le bisettrici degli angoli formati dalle direzioni degli assi delle espansioni polari. Queste spazzole possono essere collegate fra di loro in serie od in parallelo a seconda che si vuole ottenere una elevata differenza di potenziale o una forte intensità, identicamente a quanto si è visto nell'accoppiamento dei diversi elementi di una batteria di pile.

Però possiamo eliminare questa esuberanza di spazzole riducendole sempre al numero di due, mediante opportuni collegamenti fra le sbarre del collettore; collegamenti i quali debbono avere diversa disposizione a seconda che

si tratti di riunione in serie od in parallelo delle diverse dinamo elementari.

Questa disposizione, quantunque presenti un giovamento nei riguardi del funzionamento, riducendo al minimo i punti nei quali può avvenire lo scintillio, e quindi facendo diminuire la sorveglianza a cui deve sottoporsi la dinamo, rappresenta, però, uno svantaggio, perchè, una volta costruita la dinamo, non si può variare lo aggruppamento dei diversi suoi elementi: cosa che, con l'altra disposizione, si poteva ottenere anche durante il funzionamento.

RIASSUNTO

Impossibilità di ottenere da una dinamo bipolare una forza elettromotrice elevata. — Con le dinamo multipolari si ottiene una forza elettromotrice, a parità di velocità, tanto più elevata quanto più numerose sono le coppie di poli, o una forza elettromotrice identica riducendo proporzionalmente la velocità. — Le dinamo multipolari non sono che l'aggruppamento in serie o in parallelo di più dinamo bipolari. — Si possono in esse avere due sole spazzole quando questi aggruppamenti sono fatti direttamente fra le spire dell'armatura o tra le sbarre del collettore, o un numero di spazzole eguale a quello dei poli quando questi collegamenti interni non sono eseguiti.

CAPITOLO V.

Scintillio alle spazzole - Reazione dell'armatura

Se si collocano le spazzole, che raccolgono la corrente, in quel piano, che abbiamo chiamato PIANO TEORICO DI COMMUTAZIONE, nel funzionamento della dinamo, a qualunque sistema essa appartenga, sia come eccitazione che come forma di armatura, che come numero di poli, si manifesta uno scintillio fortissimo, che, in breve tempo, deteriora e mette fuori servizio il collettore, e può diventare causa di possibili incendi, oltre al rappresentare una perdita rilevante di energia che viene trasformata in calore.

La ragione di questo scintillio, che bisogna evitare ad ogni costo, è semplicissima e la si trova nei fenomeni di induzione, che si manifestano nelle diverse spire, quando esse si trovano chiuse in corto circuito sotto le spazzole per la necessità assoluta che le spazzole, prima di lasciare una sbarra del collettore, entrino in contatto con la sbarra successiva, per evitare le interruzioni di corrente nel circuito esterno, che si avrebbero quando, nel passaggio da una sbarra all' altra, la spazzola restasse solo in contatto con lo strato di isolante che separa le diverse sbarre del collettore.

Per tale fatto, che risulta assolutamente necessario, non potendosi, diversamente, industrialmente utilizzare la corrente generata nell'armatura, si verifica la chiusura in corto circuito della spira che termina alle due sbarre del collettore riunite sotto la spazzola che si considera. Questa spira, chiusa in corto circuito, nell'istante in cui la sua corrente è nulla, subisce la influenza delle correnti variabili, che circolano nel resto dell'armatura, ed è, quindi, sede di una corrente indotta di determinato senso. Nel-

l'istante successivo, perduto il contatto con la spazzola, il suo circuito viene aperto e si ha una variazione rapidissima di corrente dal valore che prima aveva, al valore novello che deve acquistare per essere entrata a far parte della mezza armatura successiva: per questa variazione rapidissima si ha una induzione fortissima, che provoca lo scintillio fra la spazzola e la sbarra del collettore nell'istante che il corto circuito viene a cessare.

La ragione, quindi, dello scintillio, risiede nella variazione di corrente, nel momento in cui la spira, chiusa in corto circuito sotto la spazzola, entra a far parte dell'altra semiarmatura e quindi, per evitare tale scintillio bisogna che tale variazione di corrente non si manifesti; cioè bisogna fare in modo che la spira, che si considera, nel momento in cui cessa di essere chiusa in corto circuito sotto la spazzola corrispondente, sia attraversata da una corrente della medesima grandezza e del medesimo senso di quella che attraversa la semiarmatura a cui va a collegarsi.

Vediamo che cosa avviene nella spira, che si considera, quando la chiusura in corto circuito sotto la spazzola si determina prima, dopo o proprio nel piano teorico di commutazione.

Quando una spirale è chiusa in corto circuito sotto una spazzola prima di arrivare nel piano di commutazione, la forza elettromotrice d'induzione, sviluppata in essa, dà luogo ad una corrente elettrica di determinata intensità, che può arrivare al valore dell'intensità totale data dall'armatura, perchè la resistenza della spira è piccolissima. Questa corrente dannosissima è di senso contrario a quella che fornisce la semiarmatura di cui la spira entrerà a far parte dopo di aver lasciata la spazzola Allorchè la spirale rientra nel circuito, la corrente dell'armatura tende a penetrare nella spira, ma vi trova la cor-

rente opposta, più forte di essa, e, quindi, in queste condizioni, l'equilibrio non può stabilirsi che quando l'eccesso di corrente sparisce, passando per l'unico cammino che gli è offerto, cioè fra la punta della spazzola e la sbarra del collettore che essa ha lasciato, sotto forma di un arco che si allunga e si spegne.

Questa disposizione della spazzola è dunque disastrosa per la macchina.

Allorchè, invece, le spazzole coincidono col diametro teorico di commutazione, si osserva pure il medesimo fenomeno dello scintillio, ma per un'altra ragione.

Noi sappiamo che quando una spirale trovasi nella direzione di questo diametro non genera forza elettromotrice; per conseguenza la corrente che in esso circuito si determina è dovuta solo alla induzione che su di essa esercita la corrente che circola nelle altre spire, nel momento in cui essa è chiusa in corto circuito.

Allorchè la spirale rientra in circuito, la corrente, che tende a percorrerla, incontra una resistenza relativamente grande, che è dovuta all'autoinduzione della spirale stessa, ed allora essa segue la via di minor resistenza e si manifesta sotto forma di scintilla fra la punta della spazzola e la sbarra del collettore da essa abbandonata.

Quando, invece, le spazzole si trovano spostate nel senso del movimento, la corrente, di cui è sede la spira, ha il medesimo senso di quella della semiarmatura a cui va ad unirsi dopo di aver lasciato il contatto con le spazzole, e allora, si comprende, facilmente, come si arrivi a trovare un punto del collettore in cui non si manifesta più alcuna scintilla, cioè il punto in cui la corrente indotta nella spira è proprio eguale a quella della semi armatura di cui entra a far parte.

Eccone la ragione. In questa disposizione una spira in corto circuito è sede di una forza elettromotrice tale che

la corrente che ne risulta è dello stesso senso di quella della semiarmatura con cui viene a riunirsi. Si comprende, intuitivamente, come debba esistere un punto per il quale la corrente, che circola in quella spira, risulti eguale a quella del circuito della semiarmatura a cui va ad unirsi. Quando questo punto è trovato non si ottiene più alcun fenomeno di scintillio, perchè la spira, che or ora si è considerata, entra a far parte di un circuito con una corrente che è perfettamente eguale come grandezza e come segno a quella che dovrà attraversarla, e quindi non è sottoposta ad alcuna variazione di corrente, nè di flusso, e quindi nessun fenomeno di induzione e nessuno scintillio si può manifestare.

In pratica questo punto lo si trova per tentativi spostando le spazzole oltre il diametro di commutazione ed arrestandosi nell' istante in cui lo scintillio sparisce.

Nell'istante preciso in cui ciò si avvera, bisogna arrestare il movimento in avanti delle spazzole, perchè, continuandolo ancora, diminuirebbe di molto la potenza che la dinamo può fornire al circuito esterno.

Il piano, nel quale vengono collocate le spazzole per evitare che si manifesti lo scintillio, si chiama PIANO EFFETTIVO DI COMMUTAZIONE.

Quando noi spostiamo le spazzole nel senso del movimento veniamo ad ottenere questo risultato: riuniamo delle spire in cui si genera la corrente in un determinato senso, alle spire dell'altra mezza armatura nelle quali si genera la corrente in senso contrario, e propriamente queste spire sono quelle comprese fra le due posizioni del diametro di commutazione, quello teorico e quello effettivo.

Dallo spostamento, quindi, delle spazzole, nel senso del movimento, se otteniamo la eliminazione di un inconveniente gravissimo quale è quello dello scintillio alle spaz-

zole, determiniamo un inconveniente, benchè minore, sempre apprezzabile, la diminuzione, cioè, della forza elettromotrice, che è tanto più forte quanto più grande è lo spostamento. Per tale ragione, bisogna arrestarsi nello spostamento nell' istante in cui lo scintillio sparisce, perchè, continuando in questo spostamento, si verrebbe a diminuire, inutilmente, la potenza disponibile della dinamo. A questa diminuzione di forza elettromotrice vien dato il nome di REAZIONE DELL' ARMATURA.

Ai poli della dinamo si ha una differenza di potenziale che dipende dalla reazione dell'armatura e dalla differenza di potenziale perduta nelle sue resistenze, entrambe dipendenti dalla intensità che la dinamo eroga. Quanto più questa aumenta, tanto più, per entrambe le cause, ora menzionate, diminuisce la differenza di potenziale utilizzabile nel circuito esterno.

Se, però, la reazione dell' armatura non dipende dal sistema di eccitazione della dinamo, la perdita di potenziale nelle resistenze dipende assolutamente da essa, e, mentre nella dinamo eccitata in derivazione bisogna considerare solo la perdita di potenziale nell' armatura, perchè agli estremi di questa è attaccato il circuito di utilizzazione, nella dinamo eccitata in serie bisogna considerare anche quella nel circuito dell'armatura, perchè il circuito esterno è attaccato per uno degli estremi al circuito di armatura e per l'altro estremo al circuito di eccitazione.

Non bisogna, però, credere che, a parità di condizione, la dinamo eccitata in derivazione possa dare un rendimento maggiore, ossia che non si perde alcuna potenza nel circuito di eccitazione, perchè se ai poli del circuito esterno si ha la medesima differenza di potenziale che si riscontra ai poli dell' armatura, non tutta la intensità, da questa generata, si ritrova nel circuito di utilizzazione, ma una parte di essa si utilizza nella eccitazione, nella quale,

quindi, si sperde una energia eguale al prodotto della intensità che la attraversa per la differenza di potenziale che si mantiene ai suoi poli e a quelli e del circuito esterno, e, quindi, anche ai poli del circuito di eccitazione, che termina ai medesimi punti.

RIASSUNTO

Lo scintillio alle spazzole dipende da un fenomeno di autoinduzione dovuto alla variazione di corrente che si verifica nell'istante in cui le spire chiuse in corto circuito sotto le spazzole entrano a far parte del circuito della dinamo. Lo scintillio si elimina spostando le spazzole oltre il diametro teorico di commutazione, nel senso del movimento, fino a trovare una posizione in cui la corrente indotta nelle spire chiuse in corto circuito é identica a quella del circuito della semi-armatura a cui vanno ad essere unite. — Questo spostamento delle spazzole provoca un abbassamento di potenziale ai poli dell'armatura che viene conosciuto col nome di reazione dell'armatura. — Perdita di potenziale nelle resistenze interne e sua dipendenza del sistema di eccitazione.

Capitolo VI.

Funzionamento delle Dinamo

Le dinamo a corrente continua si comportano diversamente, nel loro funzionamento, a seconda del sistema di eccitazione che viene per esse adoperato, ed è appunto in base a questa diversità di comportamento che si scelgono

le dinamo da servire per determinati impianti, in modo che esse rispondano perfettamente ai requisiti richiesti.

Nelle dinamo ad eccitazione indipendente, mantenendo costante la intensità di corrente nelle eliche magnetizzanti mediante una sorgente esterna di elettricità, si ha dall'armatura, che gira in un campo magnetico di intensità costante, una differenza di potenziale che va man mano diminuendo a misura che si obbliga l'armatura ad erogare una intensità di corrente più forte. Essa è massima nel momento in cui l'armatura non eroga corrente, ossia nel momento in cui il circuito esterno è aperto, non essendovi apparecchi di utilizzazione in funzionamento. In questo momento la differenza di potenziale, è perfettamente identica in valore alla forza elettromotrice, che la dinamo genera. A misura che si fa crescere la intensità, erogata dalla dinamo, ossia a misura che si aumentano gli apparecchi di utilizzazione, che assorbono la corrente da essa generata, aumenta la caduta di potenziale nell'interno dell'armatura per effetto della trasformazione della energia elettrica in energia calorifica e contemporaneamente per l'aumentata reazione dell'armatura, entrambe cause che concorrono, come abbiam visto, a far diminuire la differenza di potenziale disponibile ai poli della dinamo che si considera. Arriva però un momento nel funzionamento, quando la resistenza del circuito esterno scende al di sotto di un determinato limite, che la reazione dell'armatura diventa eccessiva ed allora non solo si riscontra un abbassamento fortissimo nella differenza di potenziale ai poli della dinamo, ma si osserva anche un abbassamento nella intensità, ed allora non conviene far più funzionare la macchina in queste condizioni, perchè verrebbe, certamente, a deteriorarsi l'isolamento dell'armatura, e potrebbe anche compromettersi la continuità conduttiva del uo circuito, fondendosi i fili di rame che lo compongono.

In conclusione, le dinamo ad eccitazione indipendente danno la massima differenza di potenziale a circuito di utilizzazione inoperoso, e vedono man mano diminuire tale differenza di potenziale a misura che si aumenta il numero degli apparecchi di utilizzazione, ossia a misura che si obbliga la dinamo ad erogare maggior quantità di corrente.

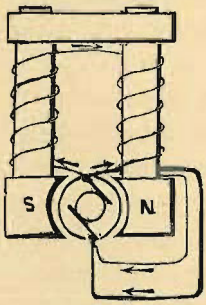


Figura 11.

Le dinamo eccitate in derivazione (*figura 11.*) si comportano identicamente a quelle ad eccitazione indipendente, ma presentano, però, minor regolarità nel funzionamento, perchè, mentre in queste la eccitazione si mantiene costante, in quelle la eccitazione varia col variare della differenza di potenziale ai poli dell'armatura, a cui gli estremi del circuito di eccitazione fanno capo assieme a quelli del circuito esterno o di utilizzazione.

Le dinamo eccitate in serie (*fig. 12.*) si comportano in modo completamente diverso.

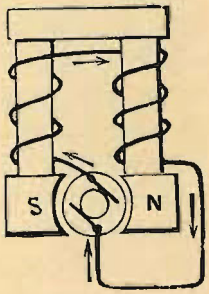


Figura 12.

Esse, a circuito esterno aperto, dànno una piccolissima differenza di potenziale dovuta alla piccola intensità di campo magnetico che conservano per il magnetismo residuo dei nuclei; differenza di potenziale, che rimanendo il circuito esterno aperto, non potrebbe in nessun modo aumentarsi in valore, perchè nessuna corrente più forte verrebbe ad attraversare le eliche magnetizzanti. Bisogna, quindi, chiudere il circuito delle dinamo per ottenere che esse, eccitandosi, possano arrivare a sviluppare la forza elettromotrice per la quale sono calcolate. Se,

però, si chiude la dinamo sul circuito di utilizzazione, presentando esso una resistenza relativamente grande rispetto alla piccolezza della differenza di potenziale libera ai poli, non si arriva ad ottenere il rinforzo di questa con l'aumento della intensità nel circuito di eccitazione. Per ottenere che la forza elettromotrice arrivi al valore normale bisogna chiudere la dinamo IN CORTO CIRCUITO ossia su una resistenza piccolissima, perchè allora tutta la intensità generata dall'armatura, circola nelle spire induttrici e va man mano aumentando la magnetizzazione dei nuclei, da cui dipende l'aumento della differenza di potenziale ai poli della dinamo.

Ottenuto, in tal modo, che le dinamo in serie funzionino regolarmente, vediamo come esse si comportano al variare della intensità, che deve erogare nel circuito esterno. Siccome la intensità, che circola nel circuito esterno, è la stessa che attraversa l'armatura e gli induttori, è chiaro, che, con l'aumentare di questa, aumentino la magnetizzazione dei nuclei e la intensità del campo nel quale si muove l'armatura, e per conseguenza aumenti la forza elettromotrice generata. Col crescere, però, della intensità della corrente, aumenta pure la caduta di potenziale nelle resistenze dell'armatura, e, per tale ragione, la differenza di potenziale libera ai poli della dinamo cresce ma in proporzione minore della forza elettromotrice.

Anche nelle dinamo eccitate in serie riscontriamo il fenomeno, notato in quelle ad eccitazione indipendente e ad eccitazione in derivazione, che, quando la intensità della corrente supera un determinato limite, la reazione dell'armatura arriva a valori grandissimi, per cui la differenza di potenziale ai poli invece di aumentare comincia col diminuire eccessivamente; ed anche qui è pericoloso spingere il funzionamento in queste condizioni di elevata reazione dell'armatura.

Dal paragone fra il comportarsi delle dinamo in derivazione e di quelle in serie, si deduce, che, mentre nelle prime la differenza di potenziale diminuisce con l'aumentare della intensità di corrente che erogano, nelle seconde, invece, aumenta. Da ciò si conclude, che nè l'una nè l'altra possono mantenere costante la differenza di potenziale ai poli del circuito di utilizzazione col variare del carico.

Ma da questa stessa considerazione si arguisce, facilmente, che, se, alla eccitazione in derivazione, si aggiunge una opportuna eccitazione in serie, in modo che essa fornisca proprio un aumento di differenza di potenziale eguale alle diminuzioni che si riscontrano nel funzionamento della dinamo eccitata in derivazione, si arriva ad ottenere una dinamo che fornisce una differenza di potenziale costante. A questa dinamo è dato il nome di DINAMO COMPOSTA O COMPOUND (*figura 13.*) appunto perchè riunisce in sè entrambe le eccitazioni.

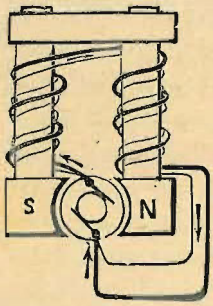


Figura 13.

Se la eccitazione in serie si calcola un po' abbondantemente, in modo da eguagliare non solo le perdite di differenze di potenziale, fornite dalla eccitazione in derivazione, ma da superarle un poco, tanto che, per elevate intensità, la differenza di potenziale superi il valore che presenta per basse intensità, si ha una dinamo che viene conosciuta col nome di DINAMO IPERCOMPOSITA O IPERCOMPOUNDATA.

Vedremo, nel parlare degli impianti, come queste diversità del funzionamento delle dinamo rispondano ai bisogni delle diverse applicazioni.

RIASSUNTO

Le dinamo ad eccitazione indipendente hanno una forza elettromotrice massima a circuito esterno aperto, che va man mano diminuendo a misura che aumenta la intensità che si deve erogare nel circuito esterno. — Lo stesso avviene per le dinamo ad eccitazione in derivazione. — Le dinamo ad eccitazione in serie non si eccitano se non si chiudono prima per un istante in corto circuito; in seguito la forza elettromotrice cresce con l'aumentare della intensità erogata fino a che la reazione dell'armatura, diventata eccessiva, non fa diminuire la differenza di potenziale libera ai poli del circuito esterno. — Nelle dinamo composte la eccitazione in serie deve compensare gli abbassamenti di potenziale dovuti alla ecccitazione in derivazione, e perciò la differenza di potenziale si mantiene costante. — Nelle dinamo ipercomposite la eccitazione in serie è calcolata un poco abbondantemente, in modo che, per elevate intensità, la differenza di potenziale aumenti un po' di valore rispetto a quella che aveva per piccole intensità.

CAPITOLO VII.

Diverse forme di induttori

Il flusso, che attraversa l'armatura, è funzione di quello determinato dagli induttori, però non è eguale ad esso, perchè, per la disposizione stessa del circuito magnetico della dinamo, si ottiene una dispersione di linee di forza che, a seconda dei casi, può diventare anche abbastanza rilevante.

Si intende per CIRCUITO MAGNETICO il percorso chiuso delle linee di induzione; circuito magnetico che presenta, a parità di quello elettrico, una propria resistenza, detta RESISTENZA MAGNETICA O RILUTTANZA e che è inversamente proporzionale alla permeabilità.

A misura che aumenta la resistenza magnetica, diminuisce il flusso e quindi gli effetti utili, che si possono ottenere dalla dinamo che si considera.

Il circuito magnetico di una dinamo è costituito da tre parti essenziali: dai nuclei degli induttori, collegati da materiale magnetico in un modo qualsiasi, dal nucleo dell'armatura, e dall'interferro.

Le linee di forza, come già abbiam detto, parlando, nel primo volume, della permeabilità, seguono a preferenza gli spazi del campo magnetico, che presentano maggiore permeabilità, concentrandosi in essi. E, poichè l'aria presenta una permeabilità di gran lunga inferiore a quella del ferro, lo spazio da questa occupata nel circuito magnetico delle dinamo, cioè l'interferro, rappresenta un ostacolo al propagarsi delle linee di forza, che, per interferri un po' eccessivi, può essere tanto grande da far sì che le linee di forza, nel passare da una espansione polare a quella vicina, seguano un cammino tutto esterno all'armatura.

Queste linee di forza, che attraversano il circuito inducente, ma che sfuggono al circuito indotto, fanno sì che il flusso attraverso il primo sia superiore in valore a quello attraverso il secondo, e si può ritenere che quello sia da 1,11 a 1,41 volte superiore al secondo. Tale numero, che rappresenta la dispersione delle linee di forza, porta, per tale ragione, il nome di COEFFICIENTE DI DISPERSIONE, ed è la causa dei diversi tentativi fatti nei riguardi della forma degli induttori per poter raggiungere una dispersione minima e quindi un massimo rendimento.

La differenza fra il flusso che attraversa il circuito inducente e quello che attraversa l' armatura porta il nome di FLUSSO DISPERSO ed il fenomeno che lo provoca di DISPERSIONE DI FLUSSO.

Le condizioni a cui deve rispondere un buon induttore si possono riassumere nelle seguenti:

1° presentare la massima permeabilità.

2° essere abbastanza lungo in modo da permettere un avvolgimento di molte spire senze moltiplicare gli strati, per evitare un riscaldamento che deteriorerebbe le condizioni di isolamento.

3° evitare il più che è possibile le dispersioni di flusso

4° avere un perimetro minimo per una data sezione, e perciò si preferiscono le forme cilindriche.

Ordinariamente si adottano induttori bipolari per dinamo fino alla potenza di 30 kw. quando il circuito magnetico è unico: nel caso di circuito magnetico doppio si può arrivare fino alla potenza di 100 kw. Oltre questa potenza si adoperano dinamo multipolari.

Ordinariamente si adopera la ghisa per le masse polari, il ferro forgiato per i nuclei degli induttori (dinamo Edison-Hopkinson), talvolta, invece, si adopera per tutto

il circuito magnetico inducente il ferro forgiato (dinamo Siemens).

I tipi di induttori più adoperati sono i seguenti: il tipo Edison-Hopkinson, in cui il circuito inducente è rappresentato da due nuclei cilindrici verticali su cui è fatto l'avvolgimento: essi sono terminati, verso il basso, da due espansioni polari, e riuniti verso l'alto da una traversa che porta il nome di GIOGO. Tale tipo si adopera a preferenza per dinamo di piccola potenza.

Il tipo di Siemens superiore è identico al precedente però è completamente capovolto; il giogo si trova nella parte inferiore, e le espansioni polari nella parte superiore: queste però sono troppo poco pronunziate nella parte superiore in modo che determinano un' attrazione verso il basso che aumenta il lavoro sostenuto dall' albero e dai supporti.

Il tipo Crompton ha gli induttori costruiti da un rettangolo col lato lungo disposto orizzontalmente: nella parte centrale di questo si trovano le due espansioni polari, e gli avvolgimenti, in numero di quattro, sono disposti da una parte e dall' altra delle due espasioni.

Il tipo Manchester, come schema di circuito magnetico, è identico al precedente; differisce solo perchè presenta due rocchetti inducenti disposti sui due lati verticali del rettangolo inducente.

I due ultimi tipi sono a circuito magnetico doppio (1), però presentano l' inconveniente di prestarsi ad una dispersione di flusso abbastanza rilevante.

---

(1) Il circuito magnetico doppio si ha quando le linee di forza, per passare da un polo all' altro, si biforcano, perchè trovano due vie di egual resistenza: in tal caso, a parità di sezione, si ha una intensità di campo più forte perchè la resistenza magnetica diminuisce, e, volendosi la medesima intensità, si può adoperare una sezione dei nuclei metà.

Il tipo Lahmeyer, a induttore corazzato, cerca di ovviare a tale inconveniente: in esso le espansioni polari sono ricacciate sui due lati verticali del rettangolo e su di esse sono fatti gli avvolgimenti.

Nell'induttore Eickmeyer vi è una sola spirale inducente, in modo da permettere all'armatura di essere completamente circondata dal ferro, però in esso si ottiene una induzione non perfettamente simmetrica e che impedisce, per tale ragione, il regolare funzionamento della macchina.

Negli induttori tetrapolari, ed in generale in tutti gli induttori multipolari, si possono avere gli avvolgimenti su ciascuna espansione polare o solo alternativamente in modo da ottenere la polarità nelle altre espansioni per effetto della magnetizzazione. Questi tipi di induttore, detti a POLI CONSEGUENTI, sono adoperati dalla casa Oerlikon, ma trovano più generalmente adozione nei motori, specialmente per la trazione. Lo scopo della loro adozione è di diminuire la lunghezza delle espansioni polari su cui non si fa l'avvolgimento, e questo, nella trazione elettrica, giova immensamente, perchè permette di diminuire sensibilmente l'altezza del motore e quindi il diametro delle ruote.

La casa Siemens adopera, specialmente per dinamo di potenza piuttosto rilevante, l'induttore in cui le espansioni polari sono formate dai raggi di una stella, disposta nel centro della macchina, mentre l'armatura si trova all'esterno; e ciò per ottenere una velocità periferica abbastanza forte facendo girare l'armatura lentamente.

Si adoperano come metalli per la costruzione dei nuclei il ferro, l'acciaio dolce o la ghisa.

Il ferro è il miglior materiale, però presenta l'inconveniente dell'elevato prezzo di mano d'opera per la forgiatura: l'acciaio dolce ha anche esso una grande per-

meabilità e si presta ad essere fuso e colato in forme, però bisogna evitare, con molta cura, le soffiature che fanno aumentare enormemente la resistenza magnetica.

La ghisa costa pochissimo e si presta molto facilmente ad assumere svariate forme, ma però presenta una resistenza magnetica molto più rilevante dell'acciaio dolce, per tal ragione, impone di adoperare delle sezioni di nuclei molto più grosse.

Nel caso, a cui abbiamo già accennato, che una porzione del circuito inducente sia costituito da ghisa e l'altra da acciaio dolce o da ferro, bisogna porre la massima cura nelle bullonature per evitare un aumento nella resistenza magnetica.

Le espansioni polari non debbono troppo circondare la armatura, perchè, altrimenti, le perdite di flusso, dovute alle linee di forza che sfuggono a questa, diventano molto sensibili, perchè esse trovano minor resistenza a passare direttamente da un becco polare a quello vicino, che ad attraversare l'interferro. Si indica col nome di BECCO POLARE la parte terminale della espansione polare a cui si dà la forma di una punta arrotondata.

Ordinariamente le espansioni polari occupano i sette decimi della periferia dell'armatura: esse presentano, quasi sempre, una sezione molto più grande dei nuclei. La ragione dello arrotondamento dei becchi polari è nella tendenza delle linee di forza ad accumularsi in essi, e, per tale ragione, si fanno con una sezione decrescente per evitare che il flusso di forza passi tutto per essi, cosa che si avvererebbe se le espansioni polari conservassero una sezione costante.

La forma, quindi, che si dà a queste espansioni tende a far ripartire il flusso in modo uniforme, per ottenere nell'armatura una induzione uniforme, e quindi un regolare funzionamento della dinamo.

Il circuito inducente è formato da spirali di filo di rame isolato da una copertura di cotone duplice o triplice, avvolta generalmente su forme di cartone, di bronzo e talvolta di zinco infilate sui nuclei.

La densità di corrente, che ordinariamente si assegna nei fili del circuito inducente, è di 1 a 1,5 ampère per millimetro quadrato di sezione, per impedire un riscaldamento eccessivo che può deteriorare le condizioni dell' isolante. Devesi, poi, evitare di avvolgere molti strati l' uno sull'altro per non avere elevamenti di temperatura dovuti ad impossibilità di dispersione di calore attraverso l' ambiente.

Nella tavola seguente, dovuta all' Uppemborn, sono indicati gli spessori degli isolanti relativi ai diversi fili

Diametro del filo nudo	Diametro del filo isolato	Spessore dell' isolamento
1	1,5	0,5
2	2.6	0,6
3	3,6	0,6
4	4,7	0,7
5	5,8	0,8
6	6,9	0,9
7	7,9	0 9
8	9,0	1.0
9	10,1	1,1
10	11,1	1,1

RIASSUNTO

Circuito magnetico e riluttanza. — Parti costituenti il circuito magnetico di una dinamo. — Non tutto il flusso, che attraversa i circuiti induttori, si utilizza nell'armatura, ma una porzione se ne disperde attraverso l' aria. — Il rapporto fra il flusso totale e quello utilizzato nell' armatura varia va 1,11 ad 1,41. — Condizioni a cui deve corrispondere il circuito inducente per permettere un buon rendimento. — Metalli adoperati pei nuclei degli induttori e per le espansioni polari. — Diversi tipi di induttori. — Induttori con poli conseguenti. — Le espansioni polari non debbono circondare molto l'armatura perchè in tal caso si aumentano le dispersioni di flusso. — Isolamento dei fili del circuito induttore e densità di corrente in essi adoperata.

CAPITOLO V II.

Diversi tipi di armatura

Già innanzi abbiamo accennato all'ARMATURA CILINDRICA od A TAMBURO ed a quella AD ANELLO: ora ci soffermeremo, un po' più a lungo, sul modo di costruzione di esse e sulle altre forme che l'armatura delle dinamo a corrente continua può assumere.

Nell' armatura cilindrica le spire, di forma presso che rettangolare, sono avvolte coi due lati più lunghi secondo le generatrici del cilindro, e con quelli più corti quasi

secondo un diametro, nel caso che si tratta di dinamo bipolare. Quando invece la dinamo è multipolare i due lati, che corrono lungo le generatrici, e che debbono essere riuniti lungo le basi del cilindro, non trovandosi più diametralmente opposti, ma tanto più vicini quanto maggiore è il numero delle coppie di poli, seguono un andamento diverso a seconda della diversa struttura dell'armatura che si considera. In tal caso le spirali possono essere preparate a parte avvolgendole su forme prestabilite secondo il metodo Eikemeyer, in modo che, in caso di avarie subite da una sezione qualsiasi, non debba farsi altro che togliere quella deteriorata e sostituirla con una nuova identica alla precedente.

Il nucleo dell' armatura deve essere costituito da ottimo ferro dolce e ciò per ottenere un rendimento altissimo, perchè, in tal caso, le perdite per isteresi si riducono al minimo; e deve essere laminato normalmente all' asse per rendere minime le perdite per correnti di Foucault.

Queste lamine, mentre prima erano intermezzate con fogli di carta paraffinata per isolarle l'una dall'altra, ora sono semplicemente ossidate sulla fiamma ossidante, per ottenere, a parità di sezione dell' armatura, il massimo volume di ferro, e quindi la massima permeabilità.

Per rendere vieppiù difficile la dispersione delle linee di forza e quindi la dispersione del flusso, si suole rendere minimo l'interferro, annegando, direi quasi, le spire nel nucleo dell' armatura. Ciò si ottiene sia costituendo sulla periferia del nucleo dei denti a coda di rondine, nelle cavità dei quali sono disposti gli avvolgimenti, che praticando dei fori in vicinanza della periferia, fori in cui si fanno passare i fili.

Queste disposizioni, oltre a permettere una migliore utilizzazione del flusso, dànno all' avvolgimento una so-

lidità maggiore ed una maggiore resistenza agli effetti della forza centrifuga.

L'avvolgimento, però, coi fili attraversanti fori situati lungo la periferia non ha trovato grande applicazione per le difficoltà enormi, che impone nella esecuzione e nelle riparazioni, ma è quasi universalmente adoperato nella costruzione dei motori a campo rotante.

L'avvolgimento ad anello, come andamento, presenta maggiore semplicità, perchè in esso le spirali indotte debbono essere avvolte l'una appresso dell'altra sulla periferia dell'anello, e da ciascuna sezione debbono partire i collegamenti con le sbarre del collettore.

Anche quì, per ottenere il massimo rendimento, deve adoperarsi il ferro molto dolce per la costruzione del nucleo, e questo deve essere suddiviso per impedire la generazione delle correnti di Foucault; ma, invece di adottarsi la suddivisione in dischi, si adotta la suddivisione in fili, perchè, solo in tal modo, si possono eliminare queste correnti.

Come forma della periferia esterna, relativamente al modo di avvolgimento dei fili indotti, si può seguire uno dei tre sistemi adoperati per l'armatura cilindrica.

Per favorire il raffreddamento dei nuclei degli indotti, si cerca di lasciare nell'interno il maggior vuoto possibile in cui talvolta si soffia aria fredda mediante speciali ventilatori.

Si possono, però, costruire anche indotti in cui non vi sia assolutamente ferro, per impedire del tutto le perdite per isteresi e per correnti di Foucault e per rendere minima la reazione dell'armatura. Per ottenere, in tal caso, una resistenza magnetica piccolissima devesi cambiare completamente la disposizione dei circuiti induttori ed indotti. Quelli sono costituiti da una successione di poli alternati nord e sud disposti su due dischi in modo da

risultare affacciati a brevissima distanza un polo nord di fronte ad uno sud; questi debbono essere formati da spirali piatte collegate alle sbarre del collettore al medesimo modo di quelle dell' armatura ad anello. La forma piatta delle spire, che fa dare all' armatura di queste dinamo, fra cui si notano le dinamo Desroziers, il nome di ARMATURA PIATTA, è imposta dalla necessità di ridurre al minimo l' interferro. Con tutto ciò esse han bisogno di una eccitazione molto forte e presentano un rendimento molto basso, e, per tale ragione, sono quasi completamente sparite dall' industria.

LE DINAMO DESROZIERS erano istallate a Napoli nella officina elettrica al Vico Alabardieri, e vennero messe fuori servizio con l' abolizione di essa.

Esistono ancora altri due principali sistemi di indotti: quello a stella e quello sferico.

L' indotto a stella ha il nucleo costituito da tanti cilindri di ferro, che, partendo dall' asse, si dirigono secondo i raggi del cerchio che ha per centro il centro dell' asse e per piano il piano normale ad esso.

Su ciascun raggio è avvolta una sezione dell' indotto, che termina a due sbarre successive del collettore, e le unioni delle diverse sezioni a questo è fatto allo stesso modo che nello indotto ad anello.

L' unica differenza, che si riscontra con l' indotto ad anello, sta nella posizione del piano di commutazione. Mentre nell' indotto ad anello, teoricamente, coincide col piano normale alla direzione delle linee di forza, perchè le spire sono attraversate dal flusso massimo quando si trovano in esso piano, nell indotto a stella il piano di commutazione coincide con quello delle linee di forza, perchè la posizione delle spire è spostata di novanta gradi, e quindi anche di novanta gradi deve rotare il piano di

commutazione: le spazzole, per tale ragione, debbono essere messe nella direzione dell' asse polare.

Un' ultima forma di indotto è quello sferico, che è adoperato nelle dinamo Thomson-Houston, che servono per alimentare archi collegati in serie. Il nucleo dell' indotto è di forma ellissoidica: su di esso sono avvolte tre sezioni di spire, disposte a 120° l' una dall' altra e che terminano da una parte ad un punto unico in cui sono metallicamente collegate, e dall' altra parte a tre sbarre del collettore disposte a 120° pur esse, isolate l' una dall' altra da uno strato di aria poco più di un centimetro.

L' avvolgimento di queste spire è fatto nel modo seguente. Si avvolge prima mezza sezione del primo circuito, poi mezza sezione del secondo, poi tutto il terzo circuito, in seguito l' ultima metà del secondo circuito e finalmente l' ultima del primo. Questo procedimento è tenuto perchè tutti i tre circuiti presentino la medesima lunghezza e siano perfettamente simmetrici.

L' avvolgimento è tale che mentre il nucleo ha forma decisamente ellissoidica, l' esterno dell' indotto presenta la forma sferica.

Come si riconosce di leggieri, mentre in tutte le altre armature, che finora abbiamo esaminate, il circuito si teneva sempre chiuso, e la corrente, quando non vi erano apparecchi di utilizzazione, si neutralizzava perchè le due semiarmature fornivano corrente eguali ma di segno contrario, in quest' ultimo tipo, a cui ora abbiamo accennato, quando il circuito esterno è inoperoso, quello dell' armatura è aperta e non genera alcuna corrente.

L' altro tipo di dinamo con ARMATURA A CIRCUITO APERTO è quello BRUSCH, che ha l' armatura ad ANELLO PIATTO, dentata lateralmente, e laminata. Fra i denti è avvolto il filo in poche sezioni, tutt' al più in numero di dodici, ma ciascuna sezione contiene un numero rilevante di spire.

La disposizione degli induttori è identica a quella del tipo Desroziers di cui abbiamo innanzi parlato.

I due tipi, però, differiscono sostanzialmente : mentre il tipo Desroziers ha un' armatura a circuito chiuso, il tipo Brusch lo ha a circuito aperto; nel primo non si ha nucleo di ferro, quindi e la reazione dell' armatura è minima, nel secondo il nucleo di ferro esiste, e, trovandosi molto avvicinate le masse polari, la reazione invece è enorme, ed arriva a tale valore che un corto circuito non è affatto pericoloso.

Le macchine più potenti del tipo Brusch furono costruite per l'elettrometallurgia dell' alluminio e presentavano una massa di 10 tonnellate per una potenza di 240 Kw. (80 volts e 3000 ampère).

*
* *

Qualunque sia il tipo di armatura, che si adoperi, e qualsiasi il sistema di avvolgimento che si prescelga, il filo, che deve servire per l' avvolgimento indotto, è ordinariamente a sezione circolare e solo per correnti intense è costituito o da sbarre circolari o rettangolari o anche quadrate o da traccie di fili sottili.

L' isolante è rappresentato da un rivestimento duplice o triplice di cotone verniciato. Le spire, inoltre, sono isolate, rispetto alla carcassa dell' armatura anche da uno strato di cartone di tela, o molto meglio di mica o di fibbra dura, o anche di micanite.

La densità della corrente ammessa è di 2 a 4 ampère per millimetro quadrato di sezione.

La velocità periferica dell' indotto è intorno ai 20 metri per secondo, ma si arriva anche talvolta a 30 e 40 metri.

Il collettore è formato da sbarre di rame di sezione trapezzoidale, disposte in modo da formare un fascio ci-

lindrico attorno all' asse da cui debbono essere isolate per mezzo di cartone di amianto o meglio di mica, come da queste medesime sostanze debbono essere isolate le diverse sbarre l' una dall' altra.

Le sbarre del collettore debbono essere fornite di appendici a cui debbono saldarsi od avvitarsi i fili di connessione dell' indotto, e deve esistere tale una disposizione costruttoria per cui sia impedito assolutamente ai lubrificanti di arrivare sulle sbarre del collettore, perchè, alla temperatura che questo assume, essi finiscono col carbonizzarsi e stabilirebbero dei corti circuiti fra le sbarre successive.

La lunghezza delle sbarre del collettore dipende dalla corrente da erogare e quindi dalle sezioni che debbono presentare le spazzole: queste, potendo essere di rame di latta o di carbone, avranno diverse dimensioni a secondo del materiale che si adopera ed ordinariamente non si possono assegnare meno di

4	mm²	per	ampère	per	le	spazzole	di rame
6	»	»	»	»	»	»	» latta
14 a 25	»	»	»	»	»	»	» carbone

Lo spessore di isolante fra le sbarre del collettore deve essere di 0,5 a 0,8 millimetri per dinamo fino a 250 volt, di 0,6 ad 1 per dinamo sino a 1000 volt, e di 1 a 1,2 per dinamo al di sopra di 1000 volt.

Lo spessore dell' isolante fra sbarre ed asse si può ritenere invece di 1,5 a 3 per dinamo fino a 250 volt, di 2,5 a 4 fino a 1000 volt e di 3 a 5 oltre i 1000 volt.

La pressione delle spazzole sul collettore deve essere mantenuta costante e deve essere regolare. Per quelle di carbone si usano talora delle molle che assicurano questa regolarità e costanza, ed ordinariamente ri ritiene giusta una pressione di 250 a 300 grammi per cm².

Il portaspazzole deve permettere lo spostamento delle

spazzole durante il movimento dell' armatura per rendere possibile la sparizione dello scintillio.

Il portaspazzole deve essere bene isolato dall' asse.

L' albero deve essere ben rigido, per evitare le vibrazioni, che, data la piccolissima distanza fra la parte mobile e quella fissa, riuscirebbero esiziali: per tale ragione si adopera l' acciaio e si equilibrano le masse mobili in modo da avere un profilo perfettamente simmetrico (1).

RIASSUNTO

Andamento dell' avvolgimento nell' armatura cilindrica sia nel caso di una dinamo bipolare che multipolare. — Avvolgimento Eickmeyer. — Il nucleo dell'armatura deve essere di ottimo ferro dolce, laminato normalmenre all' asse per impedire le correnti di Foucault. — Annegamento dei conduttori in canali o in fori praticati lungo la periferia dell' indotto. — Andamento dell' avvolgimento ad anello. — Il nucleo dell' armatura ad anello è formato di un fascio di fili di ferro avvolti ad anello. Questa suddivisione è anche essa praticata per

---

(1) Secondo Kapp il diametro dell'albero, nella parte mediana, può essere calcolato con la formola

$$d = \frac{1}{3} \sqrt[3]{R\,L\,D}$$

in cui R è il raggio dell' armatura, L è la sua lunghezza, e D è la semilunghezza dell' asse.

impedire il generarsi delle correnti di Foucault. — Armatura a disco senza ferro. — Scarso rendimento. — Armatura a stella e spostamento del piano di commutazione. — Dinamo con armature a circuito aperto: tipo Thomson-Houston con armatura sferica; tipo Brusch con armatura ad anello piatto. — Differenza tra le dinamo tipo Brusch e quelle tipo Desroziers. — Filo di rame adoperato per l'avvolgimento e suo modo di isolamento. — Densità di corrente ammessa negli avvolgimenti dell'armatura. — Sbarre del collettore, loro forma ed isolamento dall' asse e fra di loro. — La larghezza delle spazzole deve essere determinata in funzione della corrente da erogarsi dalla dinamo. — Lo spessore dell' isolante fra sbarra e sbarra del collettore e fra collettore ed asse deve essere determinato in funzione della differenza di potenziale ai poli della dinamo. — Il portaspazzole deve poter permettere lo spostamento delle spazzole durante il funzionamento per eliminare, sempre che si produca, lo scintillio spostando le spazzole nel senso del movimento, — Il portaspazzole deve anche esso esser bene isolato dall' asse. — Condizioni a cui deve soddisfare l'albero.

CAPITOLO IX.

Regolazione delle dinamo

Qualunque sia la natura della dinamo, che si adopera, ed a qualunque scopo essa debba servire, devesi mantenere costante o la differenza di potenziale ai suoi poli o la intensità della corrente erogata.

Per ottenere sia l' uno che l' altro requisito, si adoperano apparecchi che portano il nome di REGOLATORI DELLE DINAMO e che possono agire sia su di esse che sui motori che dànno loro il movimento: tanto gli uni che gli altri possono essere sia automatici che manovrati a mano.

I regolatori, che agiscono sui motori, che azionano le dinamo, regolano la velocità, aumentandola o diminuendola secondo il bisogno, e, perchè diano tale risultato, debbono spiegare la loro azione o sulle valvole di ammissione del vapore o del gas, quando si tratta di motrici a vapore o a gas, o sul distributore, cioè sulle luci di ammissione dell'acqua, quando si tratta di turbine idrauliche.

Quelli invece che agiscono sulle dinamo non fanno altro che modificare gli elementi costitutivi di esse, elementi, che variando, posson far mutare sia la differenza di potenziale, che l' intensità.

Cominciamo a studiare prima questi ultimi tipi di regolatori, perchè da essi, potremo, più falcimente, risalire agli altri, e comprenderne, in tempo brevissimo, il modo di funzionamento. Per aumentare ancora di più la semplicità della trattazione cominciamo a considerare il funzionamento dei regolatori, che servono a mantenere costante la differenza di potenziale ai poli della dinamo, ossia agli estremi del circuito esterno.

La forza elettromotrice, che può dare una dinamo qualsiasi, è quella che si ricava dalla espressione:

$$e = nN\varphi$$

in cui si vede che, per ottenere una variazione della forza elettromotrice, che una dinamo può generare, variazione che deve mantenerla ad un valore costante, quando per cause esterne se ne determina la variazione, si può agire sia sul numero dei giri n, che la dinamo fa a minuto secondo, sia sul numero delle spire N avvolte sull'armatura, sia finalmente sul flusso utile φ, che, attraverso di essa, si propaga.

La modificazione del numero dei giri dell' armatura presuppone una variazione nel numero dei giri compiuti dal motore a cui la dinamo è collegata; quindi questo sistema di regolazione rientra in quello a cui già abbiamo innanzi accennato e pel quale abbiamo detto di voler fare una trattazione a parte, dopo di aver considerato le regolazioni basate su azioni del tutto elettriche.

La modificazione del numero delle spire del circuito indotto porta ad una complicazione di costruzione abbastanza sentita, che rende inapplicabile questo sistema quando trattasi di dinamo; la si preferisce ancora in qualche rarissimo caso nelle costruzioni dei motori, specialmente per quelli impiegati nella trazione elettrica sulle tramvie urbane, e noi parleremo di essa e del suo modo di comportarsi quando ci intratterremo appunto delle regolazioni di velocità dei motori.

Potrebbesi anche ottenere una variazione di velocità relativa modificando il numero dei poli in mezzo a cui si muove l' armatura, però questa modificazione porta seco variazioni di forza elettromotrice molto sensibili, perchè passando da quattro a due poli si fa diventare metà la forza elettromotrice, da sei a quattro la si fa diminuire

di un terzo, e così via. Per tale ragione questo sistema si adopera, anche esso, con successo nella regolazione della velocità dei motori e non in quella delle dinamo, in cui si ha bisogno di modificare per gradi insensibili la differenza di potenziale secondo le esigenze del circuito esterno, che, provocando delle erogazioni più o meno forti di corrente, determinano abbassamenti o elevazioni di potenziale agli estremi del circuito stesso.

Resta ora a trattare della variazione del flusso attraverso il circuito dell' armatura; variazione che può ottenersi in due modi principalissimi, o diminuendo la eccitazione o aumentando la resistenza magnetica.

Il circuito magnetico di una dinamo è costituito, come abbiam visto, dai nuclei degli induttori, dalle masse di ferro che li riuniscono, dall'interferro, e dal nucleo dell'armatura. Determinate, quindi, le diverse dimensioni dei nuclei dei vari circuiti, queste restano invariate per tutto il tempo del funzionamento della dinamo e non si può agire che sull' interferro, aumentandone o diminuendone lo spessore secondo che si voglia diminuire o aumentare il flusso attraverso l' armatura.

Questa variazione, nelle dimensioni dell' interferro, si può ottenere rendendo mobili le mascelle polari, in modo da allontanare od avvicinare all' armatura ma sempre contemporaneamente entrambe, per non rendere dissimmetrico il campo nel quale questa si muove. Però tale regolazione è fatta con un rendimento molto basso, perchè, pure ottenendosi un minore flusso attraverso l'armatura, si spende sempre la medesima energia nei circuiti inducenti. E, se si aggiunge il fatto, che, aumentando l' interferro, si ottiene un irregolare funzionamento dell' armatura, avverandosi un fortissimo scintillamento alle spazzole, che deteriora in brevissimo tempo il collettore,

si ha la spiegazione del perchè questo sistema di regolazione è stato completamente abbandonato.

Non resta, quindi, che la regolazione ottenuta mediante la variazione del flusso inducente. Questo flusso dipende non soltando dalla intensità della corrente, che circola nelle eliche magnetizzanti, ma anche dal numero delle spire attraversate dalla corrente stessa.

Si ottiene la medesima eccitazione con una corrente metà di un' altra purchè il numero delle spire sia nel primo caso doppio del secondo; e così viceversa. Per tale ragione si dice che la corrente di eccitazione si misura in SPIRE-AMPÈRE, perchè essa agisce in ragione del prodotto del numero delle spire per il numero di ampère che in esse circolano. Così quando si dice che una determinata dinamo ha una eccitazione di 1000 spire-ampère, essa può essere determinata da 10 ampère circolanti in 100 spire, da 100 ampère in 10 spire, da 20 ampère in 50 spire, da 50 ampère in 20 spire e così via.

Ciò premesso, per far variare la eccitazione, e, per conseguenza, proporzionalmente, il flusso attraverso l' armatura, si può agire sia sul numero delle spire che sulla intensità della corrente.

La modificazione del numero delle spire porta, anche essa, a variazioni brusche nella differenza di potenziale, perchè non si può ottenere una modificazione per gradi, tale da determinare variazioni quasi insensibili nella forza elettromotrice, come sarebbe necessario pel normale funzionamento del regolatore, e, per tale ragione, questo sistema è adottato più nella regolazione dei motori che in quella delle dinamo.

Eliminato così il terreno da tutti gli altri sistemi di regolazione, non resta che quello basato sulla variazione della intensità della corrente che attraversa il circuito inducente.

Questa modificazione la si ottiene in diverso modo a secondo del sistema di eccitazione che si adopera, ed è inutile dire che la dinamo ad eccitazione composta non ha bisogno di regolatore alcuno, perchè, come già abbiamo notato, essa è autoregolatrice

Nella dinamo ad eccitazione indipendente, la variazione della intensità della eccitazione si può ottenere in due modi semplicissimi: o mediante una resistenza inserita nel circuito stesso, o agendo sulla forza elettromotrice della macchina che fornisce la corrente di eccitazione. Il primo sistema, è chiaro, dà un rendimento molto più basso del secondo, perchè, per ottenere tale regolazione, bisogna spendere, in pura perdita, una determinata quantità di energia attraverso la resistenza di regolazione.

Il secondo sistema riesce molto più facile quando la sorgente di energia, che serve per l' eccitazione, è costituita da pile o da accumulatori, perchè, in tal caso, si può variare, a volontà, la corrente da essi fornita, sia variandone il numero, che modificandone il modo di aggruppamento.

Nella dinamo ad eccitazione in serie l' apparecchio di regolazione è costituito da una resistenza che si inserisce in derivazione ai poli del circuito di eccitazione per modificare la intensità che attraverso di esso circola. La resistenza di regolazione non può essere inserita in serie, perchè, in tal caso, si troverebbe inserita non solo nel circuito di eccitazione, ma anche in quello dell' armatura e nel circuito esterno, facendo variare la intensità in quest'ultimo, che deve dipendere solo dalle condizioni sue precipue e non riuscirebbe mai a dare una regolazione perfetta.

Il modo di comportarsi del regolatore per la dinamo in serie è il seguente. Allorchè la differenza di potenziale ai poli della dinamo scende a di sotto del valore nor-

male, e si vuole mantenerla invariata, bisogna aumentare il flusso attraverso l'armatura e quindi bisogna rinforzare la eccitazione. Se si aumenta la resistenza derivata sul circuito degli induttori, la corrente, arrivata ai poli di questo, trova due vie nelle quali biforcarsi, come al solito, in ragione inversa delle resistenze di essi. Ma, poichè il circuito di regolazione è aumentato di resistenza, la corrente che lo attraversa, sarà più piccola di quella che precedentemente in esso circolava e per conseguenza sarà aumentata quella che circola negl' induttori. In tal modo si riporta il flusso ad un valore più elevato e si aumenta la forza elettromotrice che la dinamo può fornire, e per conseguenza anche la differenza di potenziale ai poli di essa.

Allorchè la regolazione è fatta a mano si arresta l'aumento di resistenza del regolatore quando il potenziale ai poli del circuito esterno si è riportato al valore normale; allorchè invece la regolazione è automatica, anche l'arresto dell'aumento della resistenza avviene automaticamente a questo punto.

L'operazione inversa deve farsi quando la differenza di potenziale ai poli del circuito esterno supera quella, che devesi normalmente mantenere. In tal caso si diminuisce la resistenza del regolatore, ed, allora, aumenta la corrente che circola attraverso di esso e diminuisce quella attraverso le spire induttrici. A questa diminuzione di corrente corrisponde una diminuzione di flusso, ed una diminuzione di forza elettromotrice a cui fa riscontro una diminuzione di differenza di potenziale ai poli della dinamo, diminuzione che si arresta quando si è raggiunto il valore normale.

Nella dinamo eccitata in derivazione la resistenza di regolazione si inserisce in serie nel circuito di eccitazione, perchè questo, essendo indipendente da quello esterno e

da quello dell'armatura, non può, con le sue modificazioni, alterare il funzionamento di essi.

La spiegazione del modo di funzionare di tal regolatore è molto più semplice di quella precedente. Allorchè diminuisce la differenza di potenziale ai poli della dinamo, si deve diminuire la resistenza di regolazione, che, essendo inserita nel circuito di eccitazione, fa diminuire la resistenza complessiva di esso, e per conseguenza fa aumentare la intensità che attraverso di esso circola, e porta il flusso ad un valore più elevato, cosa che determina appunto l'innalzamento della forza elettromotrice, e per conseguenza della differenza di potenziale ai poli.

L'inverso si opera quando la differenza di potenziale aumenta. Si aumenta la resistenza di regolazione; ciò determina un aumento nella resistenza del circuito di eccitazione, una diminuzione nel flusso, una diminuzione nella forza elettromotrice, e, per conseguenza, una diminuzione nella differenza di potenziale ai poli del circuito esterno.

In questi sistemi di regolazione non si può disconoscere che si perde una quantità di energia a causa delle resistenze che si inseriscono sia nei circuiti di eccitazione, che derivate su di essi, e che assorbono una certa quantità di energia sotto forma di calore. Ma questa perdita di energia viene ad essere compensata, ad usura, dal regolare funzionamento della dinamo, che, senza di ciò, non potrebbe rispondere agli scopi pei quali viene impiantata, nè potrebbe far funzionare regolarmente gli apparecchi di utilizzazione.

La macchina ad eccitazione composta, quantunque auto-regolatrice, pure suole essere fornita di una resistenza regolatrice inserita in serie nel circuito derivato, per sopperire alle rilevanti variazioni di carico nel circuito esterno.

La regolazione delle dinamo ad intensità costante è

basata sui medesimi principi sui quali è basata quella a potenziale costante, quindi per essa non resta che a ripetere parola per parola quello che finora abbiamo detto; solo si deve far procedere questa ripetizione da una considerazione semplicissima.

Nelle regolazioni, che finora abbiamo studiate, si cerca di mantenere costante la differenza di potenziale al variare delle intensità; in quelle, a cui dobbiamo ora pensare, si cerca di mantenere costante la intesità facendo variare la differenza di potenziale.

Però mal si regolerebbe ad intensità costante una dinamo in derivazione od una dinamo ad eccitazione composta, perchè, in esse, ben poca può essere la variazione della differenza di potenziale, ed allora, per ottenere tale regolazione, bisogna ricorrere alle dinamo ad eccitazione in serie, perchè le uniche che presentano rilevanti variazioni di potenziale.

Ed il sistema di regolazione è semplicissimo. Una resistenza in derivazione sul circuito di eccitazione come per la regolazione a potenziale costante e tutto è bello ed espletato. Quando cresce la intensità nel circuito esterno, cresce in tutto il circuito ed allora diminuisce la resistenza del circuito di regolazione; in tal modo in esso si deriva una maggiore quantità di corrente, e ne va meno nella eccitazione e per conseguenza anche nell'armatura e nel circuito esterno. L'inverso si fa quando diminuisce la intensità nel circuito esterno e la si vuol riportare al valore normale.

Naturalmente, tanto nell'uno quanto nell'altro caso, la variazione della resistenza di regolazione, sia come aumento che come diminuzione, si arresta quando la intensità nel circuito esterno raggiunge il valore che normalmente deve presentare.

Entrambe queste regolazioni, che noi abbiamo studiate,

come ottenute meccanicamente con la mano dell' uomo, si possono ottenere automaticamente per mezzo della stessa corrente erogata dalla dinamo.

Già noi nel primo volume, abbiamo accennato ad un regolatore poggiato sul principio del succhiamento di un nucleo di ferro da un solenoide attraversato dalla corrente, succhiamento, che determinava, a secondo del diverso grado a cui era spinto, la inserzione di un numero maggiore o minore di resistenze nel circuito: e questo potrebbe essere un regolatore ad intensità costante, perchè, agendo sul solenoide la corrente del circuito esterno, potrebbe fare inserire nel circuito di regolazione della dinamo un numero maggiore o minore di resistenze, modificando leggermente la disposizione dei circuiti.

Anche sul succhiamento sono basati innumerevoli regolatori a potenziale costante, ed in essi l'azione di succhiamento e la relativa corrente di azione sono individuate da una corrente derivata dai poli della dinamo che fa variare l'azione col variare della differenza di potenziale in essi.

Sul succhiamento di nuclei di ferro, o sull' attrazione di ancore di ferro è fondata un'altra seria rilevantissima di regolatori, che, con questi movimenti, fanno chiudere dal nucleo o dall' ancora un circuito piuttosto che un altro in modo che un motorino, in esso inserito, gira in un senso piuttosto che in un altro inserendo od escludendo resistenze nel circuito di regolazione.

Tutti questi sistemi di regolazione automatica possono essere applicati alle motrici invece che alle dinamo provocando l' aumento o la diminuzione delle velocità.

RIASSUNTO

La regolazione delle dinamo serve a mantenere costante o il potenziale o la intensità. — I regolatori possono agire sia sui motori che mettono in movimento l' armatura che sulle quantità elettriche. — I regolatori che mantengono costante la differenza di potenziale e che agiscono sulle dinamo sono di diverse specie. — Si fa poco uso dei regolatori che modificano il numero delle spire indotte , il numero dei poli del circuito inducente, o la resistenza magnetica o la variazione del numero delle spire inducenti. — Si agisce ordinariamente sulla intensità del circuito di eccitazione per la regolazione delle dinamo. — Nelle dinamo ad eccitazione indipendente o si inserisce una resistenza variabile nel circuito di eccitazione o si modifica la differenza di potenziale che si mantiene ai poli di esso. — Nelle dinamo in serie il regolatore si inserisce in derivazione sul circuito di eccitazione ed esso deriva più o meno corrente a secondo che si elevi o si abbassi la differenza di potenziale e la si vuol riportare al valore normale.— Nelle dinamo eccitate in derivazione la resistenza di regolazione si dispone in serie col circuito inducente in modo che si diminuisce o aumenta la resistenza di tale circuito a misura che si vuole elevare o abbassare la differenza di potenziale ai poli per riportarli al valore normale. — La rego-

lazione ad intensità costante si ottiene facendo variare la differenza di potenziale, per riportare l'intensità al valore voluto. — Solo le dinamo eccitate in serie possono utilmente regolarsi ad intensità costante. — Allorchè varia la intensità nel circuito esterno si fa variare la resistenza di regolazione sino a riportarla al valore normale. — Regolazione automatica. — Regolatori che agiscono sulle motrici a cui sono collegate le dinamo.

Capitolo X.

Difetti delle dinamo - Loro cause e riparazioni

I difetti, che si riscontrano nelle dinamo, possono essere dovuti a duplice causa: costruttoria od accidentale. I primi dipendono da imperfezioni o da errori di progetto o di esecuzione della maccchina e sono i più difficili a ripararsi, anzi talvolta non esiste alcun rimedio efficace contro di essi ; i secondi sono dovuti a cause derivanti dal funzionamento stesso, e, rilevati a tempo, possono salvare l'apparecchio da sicura distruzione.

I difetti costruttori possono dipendere o da sbagliate calcolazioni delle dimensioni dei nuclei, degli avvolgimenti, da esagerata o da troppo ristretto interferro, da uso di materiale poco conveniente, da imperfetta simmetria nei circuiti magnetici od elettrici, da imperfetta centratura dell' armatura, o, finalmente, da mancanza di isolamento in qualcuno o in tutti gli organi attraversati dalla corrente.

Per quanto riguarda errori nelle calcolazioni delle dimensioni, essi si risolvono nella costatazione che la dinamo non dà la potenza per la quale è stata calcolata,

ma ne dà una maggiore o minore a seconda dell' errore commesso. Già si comprende che per quanto riguarda dimensioni dei nuclei tanto dell' armatura che degli induttori, ed anche dell'interferro ogni riparazione risulti vana: non deve, nè può farsi altro che cambiare completamente la macchina. Lo stesso dicasi per quanto riguarda errori nella calcolazione degli avvolgimenti, errore che può ricorrere sia nel numero delle spire, sia sul diametro dei fili, che sul modo di raggruppamento, nel caso che trattasi del circuito dell'armatura; a meno che non possa — e riesca conveniente economicamente tentarlo — sostituirsi un nuovo tipo di avvolgimento.

Gli errori, dovuti alla sbagliata calcolazione dei fili, si risentono o sulla differenza di potenziale che la dinamo può dare o pel riscaldamento dei circuiti. Quando la differenza di potenziale, che la dinamo fornisce, mantenendola al numero di giri che corrisponde al normale funzionamento, non è quella per cui è stata calcolata, ma è o inferiore o superiore, a meno che non trattasi — nel caso di diminuzione — di una delle cause accidentali di cui parleremo in seguito, deve aversi o una corrente di eccitazione deficiente o esuberante, oppure un numero di spire indotte minore o maggiore di quello che si dovrebbe avere per il perfetto funzionamento.

Ed allora, per ottenere la correzione, si può agire sul circuito inducente, aumentando o diminuendo il numero delle spire fino a riportare la forza elettromotrice, generata dall' armatura, al valore normale

Più grave è l' errore dovuto a sbagliata calcolazione del diametro dei fili, quaudo si adopera un diametro inferiore a quello che avrebbesi dovuto adottare, perchè, in tal caso, il riscaldamento dei circuiti, deficientemente calcolati, può arrivare a valori rilevantissimi da compromettere seriamente la incolumità della dinamo.

Noi già abbiamo accennato ai limiti a cui devesi mantenere la sezione dei fili sia del circuito inducente che di quello dell' armatura, perchè il riscaldamento si mantenga entro limiti tollerabili: adottando sezioni più ristrette si compromette seriamente il potere isolante dei coibenti adoperati.

La temperatura massima, che si può tollerare negli avvolgimenti delle dinamo, è da 70 ad 80 gradi. Quando si supera tale limite, o la sezione adottata pei fili è un po' deficiente o deve concorrere qualcuna delle cause accidentali che in seguito esamineremo.

Nel caso che queste ultime sieno state scartate, perchè non esistenti, non resta a fare altro che a cambiare lo avvolgimento di sezione deficiente, se le condizioni costruttorie lo permettono e la spesa, a cui si va incontro, lo rendano accettabile, o cambiare macchina.

La misura della temperatura si deve eseguire con un termometro a mercurio con bulbo annerito per evitare la influenza del calore irradiato, e deve farsi dopo che la dinamo ha funzionato per un certo tempo, perchè essa abbia potuto assumere nei diversi avvolgimenti la temperatura di regime.

Bisogna aver cura, però, di determinare la temperatura dell'armatura appena questa si ferma e non lasciar passare del tempo per non avere una misura poco esatta e che potrebbe far arguire una deficiente calcolazione di sezione dell' avvolgimento quando invece esso risponda perfettamente a tutte le esigenze volute. La ragione di tale fatto sta in ciò, che quando l'armatura è in movimento si ha una temperatura in essa abbastanza inferiore a quella che si stabilisce quando l'armatnra è ferma, perchè quando l'armatura è in movimento si determina un continuo cambiamento di aria nelle sue vicinanze e quindi si ha una dispersione di calore verso lo

ambiente più grande di quella che si ottiene quando la dinamo è ferma, e, per tale ragione, appena questa si arresta, cessando il supero di dispersione, la sua temperatura va man mano elevandosi per raggiungere un valore abbastanza superiore a quello che presenta nel normale funzionamento.

È inutile dire che questo elevamento di temperatura, dopo di avere raggiunto un massimo, va man mano diminuendo, perchè, fermatasi l'armatura, essa non è più attraversata da corrente e cessa quindi la causa del riscaldamento.

L'uso del materiale poco conveniente si riconosce dal rendimento che l' apparecchio presenta: rendimento che è tanto più basso quanto meno adatto è il materiale che si adopera.

L'abbassamento del rendimento è dovuto alle perdite per isteresi, ed a quelle per correnti di Foucault: queste ultime, però, non dipendono dalla cattiva qualità del materiale adoperato ma dall'averlo impiegato non suddiviso a quel limite pel quale le correnti parassite sono completamente trascurabili. Anche per questi inconvenienti non ci è altro rimedio che quello di cambiare il materiale adoperato, e per esso di cambiare la macchina, risultando poco economico svolgere gli avvolgimenti per rifarli sopra altri nuclei.

La imperfetta simmetria nei circuiti elettrici e magnetici produce un disquilibrio nel funzionamento della dinamo, disquilibrio che si manifesta, il più delle volte, con un forte scintillio alle spazzole; scintillio che non deriva da alcuna delle cause accidentali che vedremo or ora. Ed allora o bisogna eliminare tale dissimetria o bisogna cambiare apparecchio se ad essa non si può porre riparo alcuno.

La imperfetta centratura dell'armatura, oltre a portare

il medesimo inconveniente, lamentato or ora, dello scintillio alla spazzole, può anche determinare un deterioramento negli avvolgimenti su di essa eseguiti per sfregamenti, che possono determinarsi contro le masse polari, ed è da porsi nella verifica di esso la massima cura.

Tratteremo degli inconvenienti, che si riscontrano per il cattivo isolamento, quando parleremo delle cause accidentali dei difetti della dinamo, perchè, sia che essi dipendano da cause costituzionali che accidentali, provocano gli stessi fenomeni e debbono esser curati con i medesimi rimedi.

*
* *

Nella ricerca dei difetti accidentali procederemo in modo diverso da quello tenuto finora e daremo le norme opportune da seguire per le costatazioni e le riparazioni necessarie, partendo dal fenomeno riscontrato e risalendo alla causa che lo ha determinato ed alle riparazioni che si debbono eseguire perchè la dinamo ritorni a funzionare regolarmente.

1.° La dinamo non dà nessuna corrente — La prima causa di questo fenomeno può essere la mancanza assoluta di magnetismo residuo, che può esser dovuto o al fatto che mai gli induttori sieno stati magnetizzati, o, anche magnetizzati, abbiano perduto ogni traccia di magnetizzazione per effetto di urti, di scosse, di elevamenti di temperatura, o per azione di campi smagnetizzanti, perchè noi sappiamo che tutte queste cause possono concorrere potentemente alla smagnetizzazione dei corpi magnetizzati.

L'assenza del magnetismo residuo si accerta mediante un ago magnetico che si avvicina alle due espansioni polari e di cui sempre il medesimo polo si vede attratto da entrambe, mentre ognuna dovrebbe attrarre un polo

differente Se ciò si riscontra, basta lanciare una corrente nelle eliche magnetizzanti perchè sia ovviato a tale inconveniente e la dinamo cominci a funzionare regolarmente.

Se però il magnetismo residuo esiste, o se, pur non esistendo, lo si crea mandando una corrente indipendente nel circuito di eccitazione, e ciò non pertanto la dinamo continua a non fornire corrente, allora vuol dire che ben altra deve essere la causa della mancanza di produzione della corrente.

L' inconveniente lamentato può essere dovuto allora a cattiva connessione dei circuiti inducenti, per cui entrambe le espansioni polari presentino la medesima polarità ed allora non può ottenersi produzione di corrente, perchè attraverso l' armatura non passano più linee di forza, o se ne passano esse sono in un numero ben limitato e in modo dissimmetrico chiudendosi il circuito magnetico attraverso gli induttori e non più attraverso l' armatura.

Per accertarsi di tale fatto basta lanciare una corrente nelle eliche magnetizzanti e determinare la polarità delle masse polari mediante un ago magnetico, ed invertire le connessioni dei circuiti inducenti nel caso che si riscontri tale anomalia.

Se anche da questo punto di vista si trova in buone condizioni la dinamo che si va studiando, può la mancanza di corrente dipendere da interruzione nel circuito di eccitazione, dovuta sia a rottura del filo in uno degli avvolgimenti o in entrambi, che da imperfetto contatto nell' unione dei diversi circuiti di eccitazione fra di loro, o con le spazzole o col circuito esterno a secondo dei sistema di eccitazione adoperato.

Tale difetto si verifica facilmente mandando in questi circuiti la corrente fornita da una pila e inserendo in essi un GALVANOSCOPIO, ossia un indicatore di corrente, e vedendo se questa passa oppur no. Nel caso che la cor-

rente non passa si verificano prima tutte le connessioni per accertarsi se sono bene strette e se sono prive di tracce di ossidi, si mettono le spazzole in contatto col collettore e se ancora non passa la corrente si verifica ciascun avvolgimento per localizzare il punto nel quale si è determinata la interruzione.

Esclusa la possibilità che uno di questi difetti abbia determinata la mancanza di corrente, essa non può derivare che da tre altre cause: corto circuito fra i morsetti principali della dinamo, corto circuito tra le spazzole o finalmente da sbagliato senso della rotazione.

Se esiste un corto circuito fra i morsetti principali o fra le spazzole, la corrente generata invece di andare nel circuito esterno attraversa il corto circuito e non si ha utilizzazione alcuna della energia prodotta dalla dinamo. Per accorgersi di ciò basta misurare la resistenza esistente fra le spazzole per vedere se essa è quella dipendente dagli avvolgimenti della dinamo o se è invece qualche cosa di trascurabile dovuta al corto circuito esistente, che non può derivare che da imperfetto isolamento dei morsetti o delle spazzole dal portaspazzole o dai nuclei. Questo difetto si ripara molto facilmente provvedendo al cambiamento degli isolanti che si presentano difettosi, o alla loro bollitura nella paraffina.

Può finalmente la mancanza assoluta di corrente essere dovuta a sbagliato senso della rotazione, perchè in tale caso non si trova resistenza alcuna nel movimento dell' armatura nel campo magnetico e non si viene a generare alcuna corrente. Per accertarsi di tale fatto basta invertire il senso della rotazione e vedere se in tal modo si arriva ad ottenere corrente.

Ma la mancanza assoluta di corrente può essere ancora dovuta a false manovre eseguite nella messa in moto ed è appunto in esse che maggiormente deve aver cura l'e-

lettricista per non perdere in seguito la testa nella ricerca di problematici inconvenienti che non esistono.

Se si tratta di una dinamo in serie, per ottenerne la eccitazione vi è bisogno di chiuderla, nella messa in moto, su una resistenza abbastanza piccola, perchè, altrimenti, la corrente di eccitazione risulta troppo piccola per portarla a fornire la differenza di potenziale normale. Per tale ragione, nel momento della messa in moto, si esclude il circuito esterno o di utilizzazione e si chiude, per un istante, la dinamo in corto circuito, il quale viene interrotto appena raggiunto il valore normale della differenza di potenziale, nello stesso istante che la dinamo si chiude sul circuito esterno.

Se quindi si è tralasciato di eseguire tale manovra bisogna provvedere ad essa per accertarsi della bontà o meno della macchina che si sta esaminando.

Se invece si tratta di una dinamo in derivazione, deve eliminarsi la possibilità che il circuito esterno presenti una resistenza troppo piccola, perchè, in tale caso, la corrente generata dall' armatura attraversa di preferenza questo, e solo piccola parte va nel circuito di eccitazione, e questa risulta troppo debole per portare la differenza di potenziale al valore normale.

Anche quì, a maggior sicurezza della manovra, è utile mettere in movimento la dinamo escludendo il circuito esterno. Ma, mentre nella dinamo in serie bisogna chiudere la macchina in corto circuito, nella dinamo in derivazione bisogna lasciare aperto il circuito esterno, perchè solo così la corrente, generata dall' armatura, va tutta nelle eliche magnetizzanti e si utilizza tutta a rinforzare la eccitazione; ed anche quì quando la differenza di potenziale ha raggiunto il valore normale si chiude la macchina sul circuito esterno.

La dinamo ad eccitazione composta si manovra come

una dinamo ad eccitazione in derivazione, perchè è l'avvolgimento in derivazione che ha la prevalenza sull'altro, che serve solo a riportare la differenza di potenziale ad un valore costante.

Può, però, succedere, manovrandosi una dinamo eccitata in serie, che, nell' istante in cui, tolto il corto circuito, la si chiude sul circuito esterno, rapidamente la differenza di potenziale si abbassi e precipiti in vicinanza dello zero. Tale anormalità deve dipendere da qualche interruzione che esiste in quest' ultimo, e che deve subito esser ricercata e riparata se vuolsi che la dinamo funzioni. In fatti il suo circuito, essendo in serie con quello esterno, viene a diventare un circuito aperto come questo si interrompe, ed allora, non passando più corrente nel circuito inducente, cessa la eccitazione e sparisce ogni differenza di potenziale ai poli della dinamo.

Egualmente avviene nella dinamo in derivazione se il circuito esterno diventa di resistenza piccolissima o addirittura è sede di un corto circuito, perchè, in tal caso, per la forte erogazione di corrente, diminuisce di molto la intensità della eccitazione e, di conseguenza, la differenza di potenziale ai poli dell' armatura.

2.° La dinamo dà una corrente piccolissima — Se, invece di non aversi assolutamente corrente, se ne ha una debole, o inferiore a quella normale, può questo fatto esser dovuto ad un corto circuito esistente fra diverse spire degli induttori sia direttamente che indirettamente attraverso i nuclei; perchè in questo caso viene a diminuire il flusso generato e quindi quello utile che attraversa l' armatura. Noi, infatti, abbiam visto che il flusso dipende non solo dalla intesità della corrente, ma anche dal numero delle spire attraverso cui questa si propaga. Ora, quando vi è un corto circuito fra diverse spire, la corrente non passa attraverso queste ma direttamente dalla

prima all' ultima spira implicata nel corto circuito, e, per tale ragione, diminuendo il flusso viene a diminuire proporzionalmente la forza elettromotrice generata dalla dinamo.

Per poter accorgersi di questo difetto, deve procedersi ad una misura di resistenza, per vedere se gli induttori presentano la resistenza che dovrebbero avere od una inferiore; nel qual caso si tratta di un corto circuito. Deve anche procedersi, ad una misura di isolamento, ossia ad una misura con la quale si determina il valore della resistenza dell'isolamento e che ci indica se l'avvolgimento è in contatto metallico col nucleo.

La deficienza di corrente può essere anche dovuta a deficienza di velocità, ed allora, aumentando questa e portandola al valore normale, devesi ottenere la corrente normale.

Finalmente la diminuzione di corrente può essere dovuta ad un corto circuito fra due o più sbarre del collettore, perchè le spire che terminano alle sbarre in corto circuito vengono ad essere inattive rispetto all'armatura, ma chiuse in corto circuito sono attraversate da una intensità superiore di molto alla normale in modo da riscaldarsi considerevolmente. Ed allora questo inconveniente è rivelato da una parte dalla diminuzione di corrente utile e dall'altra dal riscaldamento eccessivo dell'armatura.

Questo inconveniente è quello che deve più presto essere eliminato, perchè il riscaldamento prolungato finisce col deteriorare le condizioni dell'isolante e col tramutare un corto circuito fra sbarre del collettore in uno fra le spirali dell'armatura, che mette fuori servizio se non tutto almeno buona parte dell'avvolgimento di questa.

Ed a tale uopo è utile avvertire che bisogna stare molto accorti pei corti circuiti anche nelle spire della

eccitazione, specie se trattasi di una dinamo in derivazione, perchè essi, generalmente, provocano quasi istantaneamente un avaria nel collettore o nelle spirali dell' armatura.

In generale, i corti circuiti, letali negli impianti elettrici, sono esizialissimi nelle macchine; e quando si sospetta della loro esistenza bisogna, con massima sollecitudine, ricercarli ed eliminarli, perchè anche un sol momento di esitazione o di ritardo può apportare danni rilevantissimi ed esser causa di disastri grandissimi.

3.° Gli induttori si riscaldano eccessivamente. — Allorchè si determina un corto circuito fra le spirali degli induttori (specie nel caso che si tratti di dinamo ad eccitazione in derivazione) si riscontrano alcune spirali fredde, mentre altre si riscaldano al di là del normale. Restano fredde le spire attraverso cui non passa la corrente, che invece segue il corto circuito, mentre si riscaldano le altre spire che sono attraversate da una corrente più forte della normale, perchè è venuta a diminuire la resistenza complessiva del circuito. In questo caso si deve misurare la resistenza complessiva della eccitazione per vedere se essa corrisponde al valore che dovrebbe avere, ricercando il difetto nel caso che si riscontri una resistenza minore della normale.

Come già abbiam detto, è inutile fare distinzione fra corti circuiti diretti ed indiretti, cioè fra corti circuiti dovuti a difetto di isolamento fra spire e spire e quelli dovuti a comunicazioni metalliche che si sono stabilite fra spire lontane per mezzo dei nuclei sui quali sono avvolte. In generale i difetti di isolamento provocano i corti circuiti e si arriva a prevenire questi, quando, determinaudo la resistenza di isolamento, si accorge che essa è discesa al di sotto del valore normale.

Si distingue subito la differenza fra questo difetto e

quello costituzionale del riscaldamento dovuto a scarsa calcolazione del diametro del filo del circuito inducente, perchè mentre quest' ultimo riscalda tutto il circuito, quello si localizza solo in speciali spire, mentre le altre rimangono ad una temperatura poco differente da quella normale.

Questo difetto provoca, come innanzi abbiam visto, una diminuzione della corrente fornita dalla dinamo, ma nessuna anormalità nell' armatura, che rimane alla temperatura normale.

Naturalmente la diminuzione di corrente sarà inversamente proporzionale alla quantità delle spire chiuse in corto circuito, e quindi inattive.

Alcune volte, però, pure riscontrandosi il difetto che ora abbiamo esaminato, non si ottiene nessun risultato misurando sia le resistenze dei circuiti degli induttori, che l' isolamento di essi dai nuelei e ciò non pertanto esiste o il contatto fra i fili direttamente o indirettamente attraverso i nuclei. Il risultato negativo, ottenuto nelle misure, è dovuto al fatto che queste sono state eseguite quando gli avvolgimenti non erano attraversati dalla corrente normale di funzionamento, ed i fili si trovavano ad una temperatura inferiore a quella che presentano quando la dinamo eroga corrente, ed in tale condizione essi non si toccavano e non toccavano il nucleo. Ma, quando, col funzionare della dinamo, gli avvolgimenti si riscaldano, i fili si dilatano e prendono quel contatto che prima non avevano, stabilendo il corto circuito, che a temperatura inferiore si indicava inesistente.

Per svelare questo difetto, quando si ha timore che un fatto simile avvenga, bisogna operare nel modo seguente. Si invia nella eccitazione una corrente di intensità identica a quella che l'attraversa quando la dinamo funziona regolarmente, in modo che l'avvolgimento as-

suma la temperatura di regime, ed allora, dalla misura della differenza di potenziale ai suoi estremi, si determina, in modo semplicissimo, la resistenza dell'avvolgimento e si vede se essa corrisponde oppur no alla resistenza che dovrebbe avere (1).

Riconosciuto il difetto di isolamento si svolge il filo fino a trovare il punto o i punti nei quali esso si è determinato e si cerca di ripararlo con nastro isolante o si cambia l'avvolgimento nel caso che sia molto esteso, e che la riparazione non possa risultare efficace.

4.° L'ARMATURA SI RISCALDA NON MOLTO. — Già abbiamo notato una causa di eccessivo riscaldamento dell'armatura dovuta ad un corto circuito stabilito fra diverse sbarre del collettore, nel qual caso, abbiamo visto si ha una diminuzione tanto maggiore di differenza di potenziale ai poli della dinamo quanto più numerose sono le sbarre che si trovano chiuse in corto circuito.

Per evitare la possibilità di tale difetto si adottano speciali disposizioni — come innanzi abbiamo visto — per impedire ai lubrificanti di arrivare sul collettore. Questi,

---

(1) Questa misura non consiste in altro che nella applicazione pura e semplice della legge di Ohm. Si inserisce l'avvolgimento da esaminare in un circuito in cui si trova una batteria di pile ed un ampèrometro con una resistenza che serve a regolare la intensità. Quando questa ha raggiunto il valore che presenta la corrente negli induttori allorchè la dinamo funziona regolarmente, si lascia passare la corrente per un determinato tempo fino a che la temperatura di regime si sia stabilita. Allora si misura la differenza di potenziale E agli estremi dell'avvolgimento della eccitazione, e, letta la intensità i che attraversa il circuito, si ha la resistenza r dello avvolgimento, dalla legge di Ohm:

$$i = \frac{E}{r}$$

da cui:

$$r = \frac{E}{i}$$

quantunque fossero sostanze isolanti quando si trovano allo stato ordinario, alla elevata temperatura del collettore finiscono col carbonizzarsi e perdere completamente ogni potere isolante anzi col diventare perfettamente conduttori, ed in tal modo provocano la chiusura in corto circuito delle sbarre fra cui vengono a intromettersi.

Devesi anche badare di non fare abuso di vasellina per ungere le sbarre del collettore per facilitare lo scivolamento delle spazzole sul collettore, ma devesi asciugare quasi completamente la superficie di esso dopo tale operazione in modo da impedire la chiusura in corto circuito delle sbarre.

Specialmente quando la dinamo è stata per lungo tempo inoperosa può determinarsi un corto circuito per pulviscolo metallico depositatosi sul collettore nel tempo di inazione, e perciò è buona norma di ben nettarlo prima di far funzionare la dinamo.

Lo stesso inconveniente si riscontra se le sbarre del collettore invece di comunicare direttamente fra di loro, comunicano indirettamente per mezzo dell' albero dal quale non sono isolate.

Ma esso può anche essere dovuto a corti circuiti stabiliti non fra le sbarre del collettore, ma fra le diverse spire che terminano ad esse, sia per contatto diretto che indiretto per mezzo del nucleo.

Questi corti circuiti sono pericolosi più di quelli determinati sulle sbarre del collettore, perchè mentre per questi la elevata temperatura agisce su isolanti che si trovano non deteriorati, per quelli agisce su isolanti già deteriorati e va man mano aumentandone il deterioramento fino a mettere completamente fuori servizio l' armatura.

Ordinariamente in quest' ultimo caso, oltre all' elevamento di temperatura si riscontra un odore speciale di

bruciato, che è caratteristico per le sostanze di cui gli isolanti sono costituiti; odore, che, appena manifestatosi, deve fare istantaneamente fermare la dinamo da cui provviene per eliminare guai irrreparabili.

Possono, però, le spirali dell'amatura comunicare fra di loro anche indirettamente non per mezzo del nucleo ma per mezzo dei fili metallici o dei nastri che servono a fasciare l'avvolgimento per impedire le deformazioni di esso in seguito alla forza centrifuga, che si sviluppa nella rotazione.

Per accorgersi del contatto indiretto fra diverse sezioni per mezzo del nucleo basta misurare la resistenza d'isolamento dell'avvolgimento dal nucleo, così come per determinare il contatto indiretto per mezzo delle fasciature deve misurarsi la resistenza d'isolamento dei fili dalle fasciature.

Più difficile è l'accertarsi del contatto di diversi fili, senza che vi sia comunicazione col nucleo, perchè riesce inutile eseguire una misura di resistenza pel fatto che, trattandosi di resistenze piccolissime, non si può essere certi se le variazioni che si siscontrano sono dovute a imperfezioni del metodo di misura adottato o ad un corto circuito.

Per rendersi conto di tale fatto non devesi fare altro che tenere aperto il circuito dell'armatura e determinare attraverso di essa un intenso campo magnetico alternato: se non vi è alcun corto circuito, negli avvolgimenti dell'armatura non si determinerà alcuna corrente trattandosi di circuiti aperti; ma se vi è un corto circuito, questo, determinando un circuito chiuso fra le spire che impegna, sarà sede per effetto della induzione elettromagnetica di una corrente indotta abbastanza forte in esse, corrente che produce un riscaldamento sensibile.

In tal modo, dalle spire che si presentano ad una tem-

peratura superiore alle altre, non solo si ha la indicazione del corto circuito esistente, ma anche delle sezioni che in esso sono impegnate.

Finalmente l'elevamento di temperatura dell'armatura può essere dovuto o ad eccessiva velocità, o a forte richiesta di corrente da parte del circuito esterno.

Quando l'armatura gira con velocità superiore alla normale aumenta proporzionalmente la forza elettromotrice sviluppata, ed anche proporzionalmente la intensità della corrente che circola nell'armatura, e questa, superando il valore normale, viene a non trovare più una adeguata sezione nel filo adoperato per l'avvolgimento e a riscaldarlo al di sopra del valore normale.

Lo stesso avviene quando, pur rimanendo costante la velocità, diminuisce molto la resistenza del circuito esterno: allora, però, invece di aversi un elevamento di potenziale si ha un rapidissimo abbassamento del potenziale dovuto alla eccessiva reazione dell'armatura e la dinamo finisce col funzionare nel tratto in cui non è conveniente farle erogare corrente, appunto per il sopraelevamento eccessivo di temperatura che si ottiene per la deficienza della sezione dei conduttori adoperati.

Bisogna metter molta cura perchè non si verifichi nè l'un caso nè l'altro, perchè, prolungandosi anche per pochi istanti tale funzionamento non regolare, finirebbe col bruciarsi completamente l'isolante e col rendersi inservibile l'armatura.

5.° Forte scintillio alle spazzole. — Lo scintillio alle spazzole può esser dovuto a cause tanto costituzionali quanto accidentali. Alle prime abbiamo già accennato e non ritorneremo che su di una sola che può essere molto facilmente eliminata, quale è quella dipendente dalla sezione del collettore non perfettamente circolare e ritorniamo su di essa appunto perchè può essere sia costitu-

zionale che accidentale, cioè dovuta al logorarsi del collettore.

Quando ci si accorge che lo scintillamento è dovuto a questo fatto — e ci si arriva per esclusione di tutte le altre cause che ora verremo enumerando — non si deve far altro che sottoporre il collettore ad una tornitura che gli renda la sezione giusta, perchè lo scintillamento è dovuto alla apertura e chiusura dei circuiti induttivi che avvengono nei momenti in cui le spazzole lasciano o prendono il contatto con le sbarre del collettore: cosa che avviene tante più volte in un giro quanto più imperfetta è stata la costruzione di esso o quanto più diseguale ne è stato il consumo.

Ordinariamente i collettori delle dinamo, che funzionano ininterrottamente, dovrebbero essere ritorniti almeno ogni anno anche quando non presentano tracce apprezzabili di scintillamento, perchè già cominciano a determinarsi quelle difformità nella sezione, che, spinte un po' più innanzi, determinano il forte scintillamento che può provocare danni rilevantissimi non solo al collettore ma in generale a tutta l'armatura.

Nelle applicazioni elettriche deve porsi la massima cura nel prevenire i guasti e non nel cercare di eliminarli dopo che si sono determinati, perchè non sempre si ha la fortuna di colpire il giusto momento; e in questo dello scintillamento alle spazzole, per le forti correnti di apertura e di chiusura, si arriva ad ottenere tale un elevamento di temperatura nelle spirali dell'armatura, da metterle fuori servizio contemporaneamente al collettore, per cui, quando si è ritornito questo, si trova l'armatura in condizioni da non poter più funzionare.

A seconda dello spessore delle sbarre del collettore, esso può essere tornito un numero maggiore o minore di volte, badandosi a non scendere al disotto dello spessore

indicato come minimo per la corrente normale che la dinamo deve erogare. Subito ci si accorge di aver superato questo limite, quando si riscontra un elevamento di temperatura nel collettore superiore al normale.

Questa considerazione fa sì che le dinamo Siemens ad armatura esterna non siano da consigliarsi, perchè in esse, facendo i fili dell'indotto l'ufficio di sbarre del collettore, man mano che si determina la necessità di una novella tornitura, diminuisce non solo la sezione del collettore, ma anche quella dei fili dell' indotto, ed allora o questi sono calcolati con criteri molto larghi e si ha una cattiva utilizzazione del materiale, o sono calcolati con criterio giusto e dopo la prima tornitura comincia a riscontrarsi una deficienza di sezione, che, dopo tre o quattro torniture, anche limitate a spessori piccolissimi, provoca un riscaldamento eccessivo, che impone la necessità di cambiare completamente l' avvolgimento.

Lo scintillio, però, può essere dovuto non solo alle imperfezioni nella forma della sezione che presenta il collettore ma anche alle rigature o ruvidità che si determinano sulle sue sbarre specialmente quando si adoperano spazzole metalliche: ed anche in questo caso una leggiera tornitura ripristina lo stato normale.

Ma può anche lo scintillio essere dovuto a untuosità determinatasi sulle sbarre del collettore o a sporchizia che si sia su di esse depositata, in modo da far perdere ad alcune parti metalliche la conduttività superficiale, impedendo il passaggio della corrente in quei punti da esse alle spazzole. Ed allora, prima di passare alla tornitura del collettore, è conveniente pulirlo con una pezzuola imbevuta in alcool o benzina, in modo da asportare tutta la polvere e tutto il grasso che su di esso si era depositato e poi vedere se il difetto viene eliminato,

ed in caso negativo si passa all' operazione della tornitura.

E quì cade acconcio avvertire che è sempre raccomandabile di non toccare mai le sbarre del collettore con le mani per non trasmettere ad esse la untuosità che è insita alla pelle del corpo umano.

Lo scintillio può essere dovuto alla posizione delle spazzole, che non corrisponda a quella richiesta per eliminarlo: ed allora basta avanzare le spazzole nella direzione del movimento per vederlo man mano diminuire fino a sparire completamente, come abbiam già detto parlando della reazione dell' armatura.

Ma, pur essendo giusta la posizione delle spazzole, esse possono essersi allentate e non toccare le sbarre del collettore con giusta pressione, provocando, per tale ragione, lo scintillio, ed allora bisogna portarle a combaciar bene con esse, perchè, altrimenti, nel movimento dell' armatura, si hanno dei contatti più o meno perfetti, che determinano oscillazioni nei valori della corrente, e, nei momenti in cui questo contatto viene del tutto a mancare si ottiene uno scintillio più o meno forte.

Questo inconveniente si riscontra più nelle spazzole metalliche che in quelle di carbone, le quali finiscono col consumarsi assumendo una sezione identica a quella sulla quale poggiano e quindi col non perdere l' intimo contatto se non quando la sezione del collettore ha perduto la sua uniformità, come innanzi abbiamo visto, o se non quando le molle, che assicurano l'intimo contatto delle spazzole col collettore, si sono allentate.

Lo scintillio alle spazzole può essere dovuto anche a velocità superiore alla normale, o ad una richiesta eccessiva di corrente fatta dal circuito esterno, ma, in questo caso, si deve riscontrare contemporaneamente un

riscaldamento superiore al normale nelle spire dell'armatura come già innanzi abbiamo accennato.

Se le spire dell'armatura sono calcolate un po' abbondantemente e se la elevazione di voltaggio o la richiesta di corrente non è eccessivamente superiore alla normale, si può far funzionare la dinamo in quelle condizioni, spostando però ancora le spazzole nella direzione del movimento; perchè lo scintillio, che ricompare, non è altro che il segno dell' aumentata reazione dell' armatura, e viene eliminato con lo spostamento delle spazzole a detrimento naturalmente del rendimento della macchina come già innanzi — parlando della reazione dell' armatura — abbiamo fatto notare.

Talvolta lo scintillio si determina in alcuni punti del collettore, ripetendosi ad ogni giro sempre nel medesimo posto sotto forma di scintille molto grosse e sferiche che si allungano molto prima di spegnersi, scintille che talune volte persistono per più sbarre consecutive del collettore, o, determinatesi in una, e non eliminate, finiscono man mano con l' estendere la loro zona di azione. Queste scintille sono dovute ad interruzione dei circuiti dell' armatura che fanno capo alle sbarre dove esse si determinano e non sono altro che le scintille di apertura del circuito che si hanno quando le sezioni interrotte vengono a passare sotto le spazzole. Esse sono pericolosissime appunto per la facilità non solo con la quale si propagano, ma anche per quella che possiedono di deteriorare l'armatura tutta quanta per l'elevamento di temperatura che in essa si viene a determinare per le forti extracorrenti che si sviluppano.

Qui si riscontra quel caratteristico odore di bruciato a cui innanzi abbiamo accennato e che è foriero della distruzione dell' armatura e forse dell' intera macchina, senza contare la possibilità della distruzione dell' intera

officina come è avvenuto alcuni anni or sono a Ginevra.

Le interruzioni dei circuiti dell'armatura possono però determinarsi sia nelle congiunzioni degli estremi delle spirali indotte con le sbarre del collettore — e questo è il caso più comune a manifestarsi — che per rottura del filo di avvolgimento in un punto qualsiasi.

Gli estremi dei fili delle sezioni dell' armatura sono collegate alle sbarre del collettore sia per mezzo di saldature che per l' intervento di viti: il primo sistema è sempre da preferirsi al secondo, perchè il movimento dell'armatura, con l' andar del tempo, finisce col disserrare le viti e col cacciare i fili dai fori nei quali sono pressati contro le sbarre provocando la interruzione in quel punto del circuito.

Già quando cominciano a disserrarsi le viti il contatto fra i fili e le sbarre dell' armatura non conserva più quella intimità, che deve avere per il regolare funzionamento, e comincia ad osservarsi una oscillazione nella corrente erogata dalla dinamo, oscillazione che però può esser provocata da altre cause indipendenti anche dalla dinamo, come vedremo or ora.

Nel caso che si riscontri lo scintillio sintomatico della interruzione di circuito, si esaminano i diversi contatti delle sbarre con gli estremi dei fili e si vede se le viti sono ben strette o se le saldature conservano la loro integrità. In caso negativo si stringono le viti disserrate o si rifanno le saldature che si sono rotte, tenendo cura di non far colare il materiale da saldare sugli isolanti delle spire che verrebbero ad essere deteriorati.

Se però le congiunzioni degli estremi dei fili indotti con le sbarre del collettore si trovano perfettamente in regola, allora bisogna andar ricercando i guasti interni e localizzare la sezione o le sezioni che si presentano in-

terrotte. Per far ciò si forma un circuito con un galvanoscopio ed una pila e gli estremi di esso si spostano lungo il collettore toccando sempre due sbarre successive e segnando le sbarre sulle quali il galvanoscopio non dà segno di corrente. Queste sbarre, d'altra parte, si presentano già deteriorate dallo scintillio che su di esse si è determinato, ma siccome lo scintillio può deteriorare anche sbarre circonvicine è d'uopo individuare sezione per sezione quelle che presentano la interruzione che determina lo scintillio in questione.

Questa ricerca serve da una parte a renderci ragione delle cause dello scintillio, e dall'altra a permetterci di sostituire la sezione o le sezioni che sono deteriorate con altre già belle e preparate se si tratta di avvolgimenti fatti con il sistema Eickemeyer, sistema che permette questa sostituzione, altrimenti bisogna rifare tutto l'avvolgimento anche si riscontri una sola sezione interrotta.

La interruzione di una o più sezioni dell' armatura provoca nello stesso tempo una variazione continua nella magnetizzazione degli induttori e questo è un altro sintomo che può indicarci la causa dello scintillio, perchè basta avvicinare un pezzo di ferro ad essi senza farlo toccare per veder determinarsi un' attrazione a sbalzi che imprime ad esso un movimento tremolante, invece di una attrazione continua e costante come dovrebbe aversi se la magnetizzazione si mantenesse regolare.

La interruzione nel circuito dell'armatura, quando assume proporzioni rilevanti, può giungere anche ad impedire che la dinamo dia corrente.

Lo scintillio alle spazzole, nel modo identico e con le medesime modalità, che or ora abbiamo riscontrate, può essere determinato da un corto circuito fra diverse spire dell' armatura sia direttamente che attraverso il nucleo. Questo corto circuito è duplicemente dannoso: da una

parte provoca nelle spire chiuse in corto circuito un innalzamento di temperatura dovuto alla corrente che in esse si determina e che si chiude attraverso il corto circuito, e dall'altro provoca lo scintillio col deterioramento del resto dell' armatura.

Esaminiamo la ragione di questo scintillio. Quando le spire, chiuse in corto circuito, passano sotto una spazzola, la corrente dell' armatura non arriva alle sbarre del coltore ma invece si chiude attraverso il corto circuito, perchè quivi trova una resistenza molto inferiore a quella delle spire. Allora la spazzola, che si trova in contatto con le sbarre corrispondenti alle sezioni chiuse in corto circuito, non riceve corrente. Si ha quindi il medesimo fenomeno che si riscontrava quando sotto le spazzole arrivavano sbarre del collettore corrispondenti a sezioni interrotte.

L'avverarsi della persistenza dello scintillio, dopo aver eliminate tutte le altre cause e dopo di aver riscontrato la continuità dei circuiti, contemporaneamente al riscaldarsi dell'armatura, fa riconoscere la esistenza del corto circuito e lo fa differenziare dalle altre cause dello scintillio.

Il corto circuito fra le spire, direttamente o per mezzo del nucleo, si può produrre sia per difetto di costruzione, se si è adoperato filo non bene isolato, che per difetto accidentale dovuto a perdita delle qualità isolanti in determinati punti per eccessivo innalzamento di temperatura causato da una rapida richiesta di corrente superiore al normale.

La interruzione del filo, a meno che non si sia adoperato un filo dal bel principio interrotto, perchè in tal caso la dinamo non avrebbe mai dato corrente, può esser dovuta a qualche falsa manovra eseguita nel fare l'avvolgimento falsa manovra che ha fatto perdere, anche

per breve tratto della sezione, la continuità conduttiva preparando danni rilevantissimi, quando non ci si accorge dell'avvenuta avaria.

In queste piccole discontinuità, al passaggio della corrente, si determina un leggero scintillio, che provoca un aumento di temperatura in quel punto e determina una incipiente fusione che aumenta la discontinuità e fa aumentare di pari passo lo scintillio. L'aumento di temperatura e la fusione seguitano a manifestarsi fino a che il filo interrompesi del tutto provocando tutti i fenomeni che innanzi si sono riscontrati.

Ma il filo poteva essere anche perfettamente continuo e ciò non pertanto fondere e perdere la sua continuità se il suo isolamento non era perfetto, e se, per conseguenza, il calore, che si provocava, ha cominciato a produrre anche una incipiente fusione in un punto solo e questa facendo diminuire la sezione del conduttore, ha prodotto un innalzamento ancor più forte di temperatura e infine la fusione completa del conduttore.

Torniamo qui a ripeterlo: i guasti che si producono negli impianti e nelle macchine elettriche, specialmente quelli dipendenti da imperfetto isolamento, debbono localizzarsi ed eliminarsi nel più breve tempo possibile, perchè, trascurati e tenuti in non cale, finiscono con l'apportare danni ben più considerevoli e talvolta anche irreparabili.

6.° La corrente si interrompe d'un tratto per una delle cause accidentali enumerate nel comma 1.° tranne quella riguardante la mancanza di magnetismo residuo la sbagliata polarità o la inversione del senso di movimento che si possono riscontrare solo nel primo momento di funzionamento e che se non vengono eliminate non permettono che la dinamo cominci a funzionare. Le altre

cause di interruzione di corrente nel circuito esterno ma non nella dinamo dipendono dalle condizioni dell'impianto.

7.° Oscillazione della corrente — Già abbiamo accennato ad una delle cause di queste oscillazioni quando abbiamo parlato delle connessioni dei fili dell'armatura alle sbarre del collettore, ed abbiamo detto che quando le viti, che serrano tali contatti, cominciano a disserrarsi si determinano quelle oscillazioni di corrente che sono dovute al contatto imperfetto.

Tutte le altre cause di oscillazioni di corrente sono indipendenti dalla dinamo ma dipendono dal motore, specie quando questo ha un solo cilindro ed un volante leggero; o dal regolatore di questo quando presenta un movimento periodico a periodo molto lungo; o finalmente dalla unione fra motore e dinamo quando essa è fatta per mezzo di cinghie che oscillano o sbattono perchè molto lunghe o perchè le pulegge non sono bene centrate.

In tal modo abbiamo dato una rapida corsa a tutti i difetti che si possono riscontrare in una dinamo, facendone notare non solo la causa che li determinano, ma anche dando per ciascuno di essi il rimedio opportuno per eliminarli, tranne il caso in cui — trovandoci di fronte ad un cadavere — abbiamo dovuto firmare il passaporto per l'altro mondo.

RIASSUNTO

I difetti della dinamo possono essere costruttori od accidentali — I difetti costruttori possono ridursi ai seguenti: 1.° sbagliata calcolazione delle dimensioni dei nuclei che provoca una potenza nella dinamo diversa da quella per cui era stata calcolata. 2.° Uso di materiale poco conveniente che provoca un basso

rendimento. 3.° Mancanza di suddivisione dei nuclei dell' indotto che si risolve anche in diminuzione del rendimento. 4.° Dissimmetria nelle parti costitutive che determina un funzionamento irregolare. 5.° Sbagliata calcolazione del diametro dei fili che se è in difetto prococa un eccessivo riscaldamento di circuiti. 6.° Mancanza di isolamento dei circuiti tra di loro o dai nuclei che provoca tutti gli inconvenienti che si avverano quando questa mancanza di isolamento è accidentale. — I difetti accidentali sono: I. L' armatura non dà corrente per una delle seguenti cause. 1.° Per mancanza di magnetismo residuo. 2.° Per cattiva connessione dei circuiti inducenti che determina una polarità sbagliata negli induttori. 3.° Per interruzione negli avvolgimenti induttori. 4.° Per un corto circuito fra i morsetti principali. 5.° Per un corto circuito fra le spazzole. 6.° Per sbagliato senso della rotazione. 7.° Per falsa manovra eseguita nella messa in moto (dinamo in serie messa in moto col circuito esterno aperto, o dinamo in derivazione con un circuito esterno di piccola resistenza. — II. La dinamo dà una corrente piccolissima: 1.ª Per un corto circuito fra spire degl' induttori. 2.° Per deficienza di velocità dell' armatura. 3.° Per un corto circuito fra due o più sbarre del collettore. — III. Gli induttori si riscaldano eccessivamente: 1.° Per un corto circuito nelle spirali degli induttori. — IV. L'armatura si riscalda molto: 1.° Per un corto circuito fra

due o più sbarre del collettore. 2.° Per un corto circuito fra le spire dell'armatura: 3.° Per eccessiva velocità. 4.° Per eccessiva richiesta di corrente dal circuito esterno. — V. Forte scintillio alle spazzole: 1.° Per consumo ineguale del collettore. 2.° Per rigature o rugosità determinatesi nelle superficie del collettore. 3.° Per grasso o sporchizia depositatasi sul collettore. 4.° Per sbagliata posizione delle spazzole. 5.° Per non giusta pressione delle spazzole. 6.° Per velocità eccessiva dell'armatura. 7.° Per eccessiva richiesta di corrente da parte del circuito esterno. 8.° Per interruzione nelle spirali indotte. 9.° Per corti circuiti fra le spirali indotte. — VI. La corrente si interrompe di un tratto: 1.° Per tutte le cause contemplate nel comma I. tranne per quelle contemplate nei numeri 1.°, 2.°, 3.°, 6.° e 7.° — VII. Oscillazione della corrente: 1.° Per non perfetto contatto delle spirali indotte col collettore. 2.° Per poca stabilità del movimento del motore. 3.° Per cattiva disposizione delle pulegge o delle cinghie.

Capitolo XI.

Accoppiamento delle dinamo

Le dinamo negli impianti elettrici non si adoperano come semplici unità, ma debbono potersi sostituire, accoppiare l'una all'altra, aumentare, diminuire di numero durante il funzionamento, in modo da rispondere a tutte le esigenze dell'esercizio col massimo effetto utile, ossia col massimo rendimento.

Noi, in questo capitolo, ci limiteremo a parlare del modo come le diverse dinamo debbano accoppiarsi fra di loro, riserbandoci di ritornare sui particolari di costruzione quando studieremo gli impianti, e specialmente le disposizioni delle officine di produzione della energia elettrica.

Le dinamo, come le pile, possono riunirsi in due modi distinti, in serie ed in parallelo o come suol dirsi in tensione ed in quantità, secondo che si ha bisogno di una elevata differenza di potenziale o di una fo te intensità, e questa riunione deve essere fatta in modo da non disturbare il funzionamento dell' impianto, da non far risentire danno alcuno alle macchine.

Gli accoppiamenti, però, sia come inserzione di macchine, che come eliminazione, si debbono eseguire in modo diverso secondo il sistema di eccitazione che le dinamo possiedono, e quello che si fa per un tipo determinato di eccitazione non può generalizzarsi per gli altri, e per tale ragione noi tratteremo a parte i diversi sistemi dando per ciascuno il modo di eseguire la manovra.

1.° Accoppiamento in serie delle dinamo eccitate in serie — L'accoppiamento in serie non presenta difficoltà, perchè il polo negativo della prima dinamo si unisce al positivo della seconda e restano liberi il polo positivo della prima ed il negativo della seconda. In questa riunione deve badarsi a che le dinamo — se non è possibile che siano del medesimo tipo — siano calcolate per la medesima intensità di corrente, perchè altrimenti quella calcolata per intensità minore finisce con l' essere deteriorata per l'attraversamento della intensità più elevata.

È conveniente e preferibile mettere in movimento contemporaneamente entrambe le dinamo, in modo che comincino a funzionare nel medesimo istante.

Quando si deve interrompere il circuito, si rallenta

prima la velocità della dinamo e dopo si apre il circuito esterno per evitare i danni che risentirebbero le dinamo per effetto dell' extracorrente di apertura.

Bisogna bene accertarsi della polarità delle dinamo, mediante un magnete che si avvicina alle masse polari, perchè, nel caso che la giunzione si faccia sbagliando la polarità, una delle dinamo funzionerebbe da motore e non da dinamo, ed accelererebbe ben presto la velocità fino a far scappare la cinghia dalla puleggia.

2.° Accoppiamento in parallelo delle dinamo eccitate in serie. — La unione in parallelo delle dinamo eccitate in serie si fa riunendo non soltanto il serrafilo positivo della prima al positivo della seconda ed egualmente fra di loro i due negativi, ma unendo anche con un filo detto filo di equilibrio gli altri due estremi del circuito di eccitazione, per mantenere identico il valore di questa in entrambe le dinamo (vedi figura a pagina seguente).

Questa disposizione serve a fare in modo che le due macchine lavorino egualmente, perchè solo così si ha un buon funzionamento del macchinario.

In fatti se non si adotta questa disposizione basta una piccola differenza di eccitazione che provochi una differenza di potenziale diversa nelle due dinamo perchè si corra il rischio di veder subito messe fuori servizio entrambe le macchine.

In tal caso, la corrente generata dalla dinamo a più elevata differenza di potenziale per una porzione andrà nel circuito esterno, e per l' altra nella seconda dinamo attraversando l'armatura e gli induttori in senso inverso alla corrente da essa generata, e quindi diminuendo ancora la eccitazione provocherà un'azione smagnetizzante nei nuclei induttori.

A questa diminuzione di magnetizzazione corrisponde un abbassamento ancora più forte di differenza di poten-

ziale ai poli della seconda dinamo, ed una intensità più forte che l'attraversa in senso inverso fino a che i nuclei magnetici di questa finiscono con l'invertirsi di polarità.

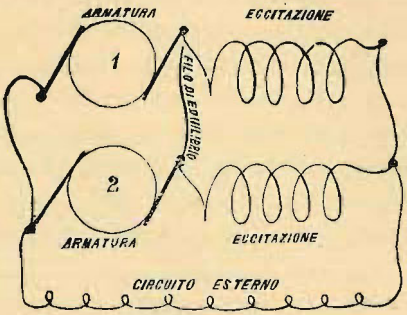


Figura 14.ª

Allora le due dinamo si trovano riunite in serie l'una all'altra e chiuse in corto circuito, e la intensità in esse acquista un valore eccessivamente alto da metterle entrambe in brevi istanti fuori servizio,

Il filo di equilibrio fa sì che entrambi gli estremi dei due circuiti induttori si trovino al medesimo potenziale, i due campi magnetici risultino perfettamente identici non solo, ma anche, diminuendo la differenza di potenziale ai poli di una, il senso della corrente che circola negli induttori resti sempre invariato, per modo da rendersi impossibile la inversione della corrente generata e tutti gli inconvenienti che ora abbiamo enumerati.

Ad ogni modo prima di inserire la seconda dinamo in circuito, quando già funziona la prima, è opportuno leggere il voltometro inserito ai poli per accertarsi che la differenza di potenziale da essa generata sia identica a quella dell'altra dinamo e solo in caso di perfetta eguaglianza chiudere questa seconda dinamo sul circuito della prima.

Per ottenere ciò, dopo di aver chiuso la dinamo in corto circuito per farla eccitare, la si chiude su una resistenza artificiale esistente in officina per farle raggiungere il valore necessario della differenza di potenziale e solo quando questo si è raggiunto si esclude la resistenza e si chiude la dinamo sul circuito di utilizzazione per mezzo di un opportuno commutatore (1) situato sul quadro di distribuzione (2).

Nelle dinamo ad eccitazione in serie è molto facile la inversione della polarità; quindi, nelle connessioni che si eseguono per il collegamento sia in serie che in parallelo, bisogna porre la massima cura a che la corrente circoli nel giusto senso in entrambe e non provochi appunto in qualcuna delle due una inversione di polarità.

Allo stesso modo che le dinamo in serie si procede allo accoppiamento delle dinamo Thomson-Houston con la differenza che esse, potendo subire impunemente un corto circuito senza deteriorarsi, per la elevata reazione dell'armatura — come abbiamo visto quando abbiamo parlato delle diverse specie di indotti —, non hanno bisogno di essere chiuse prima su una resistenza artificiale e poi sulla linea, ma si chiudono prima in corto circuito e poi sulla linea, ed inversamente si opera nel momento della esclusione del circuito.

3.° Dinamo eccitate in derivazione accoppiate in serie. — In tutte le riunioni delle dinamo, di qualunque tipo esse siano, bisogna tener presente che è sempre preferibile che esse si trovino nelle identiche condizioni di eccita-

---

(1) Il *commutatore* è un apparecchio che serve a variare le connessioni dei circuiti elettrici, facendo in modo che a diverse sue posizioni corrispondano diverse vie per le quali si incanali la corrente.

(2) *Quadro di distribuzione* è quell'insieme di apparecchi che servono per raccogliere la corrente generata nella stazione ed inviarla nelle linee di utilizzazione

zione, perchè possano — se del medesimo tipo — dare la medesima differenza di potenziale ai poli.

Nell'accoppiamento in serie delle dinamo eccitate in derivazione è consigliabile — e in quasi tutti gli impianti si pratica in questo modo — di riunire in serie le armature delle due dinamo, ed in serie le due eccitazioni in modo che queste risultino derivate agli estremi liberi

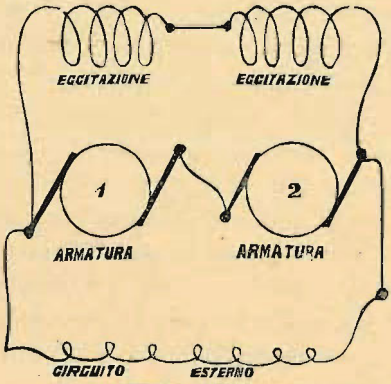


Figura 15.ª

delle due armature, ai quali punti vengono anche a far capo gli estremi del circuito esterno, ottenendosi in tal modo come un'unica dinamo derivata con un sol circuito inducente ma con due armature.

Nel caso di dover sostituire una dinamo in funzionamento con un'altra è necessario, dopo di aver messo in moto la seconda dinamo col circuito esterno aperto, perchè possa eccitarsi, chiuderla su una resistenza artificiale ed escluder questa nel momento stesso che si invia la corrente sulla linea quando si è raggiunto la differenza di potenziale fornita dalle dinamo già in funzionamento.

4.° Dinamo eccitate in derivazione accoppiate in parallelo. — Per questa riunione non bisogna far altro che

unire il polo positivo della prima macchina al positivo della seconda e così anche i due poli negativi.

Bisogna, però, aver cura di chiudere sempre prima il circuito di eccitazione e poi quello dell'armatura, perchè la manovra inversa provocherebbe danni rilevanti. In fatti, chiudendo prima il circuito dell'armatura su quello di utilizzazione, quando la dinamo non è ancora eccitata, l'armatura non genera corrente e costituisce un corto circuito per le altre dinamo, provocando certamente lo sua rovina e forse anche quella delle dinamo già in funzionamento.

Per tale ragione vi sono degli speciali interruttori che in una prima posizione chiudono il circuito della eccitazione ed in una seconda quello dell'armatura, e non permettono di passare alla seconda posizione senza aver attraversata la prima: con essi si compie la manovra inversa quando si deve interrompere il circuito.

Nel caso di dover sostituire una dinamo già in funzionamento con un'altra ferma, si procede alla preventiva chiusura su una resistenza artificiale come or ora si è detto per l'accoppiamento in serie.

5.° Le macchine ad eccitazione composta si collegano nelle diverse parti come le macchine elementari, non rappresentando esse che la sovrapposizione dei due sistemi di eccitazione nella medesima dinamo.

RIASSUNTO

Le dinamo possono accoppiarsi in serie o in parallelo, secondo che si abbia bisogno di elevata differenza di potenziale o di elevata intensità. — Lo accoppiamento in serie delle dinamo eccitate in serie si ottiene unendo il polo negativo della prima

al positivo della seconda dinamo, e mettendo contemporaneamente in moto le dinamo, che debbono essere calcolate per la medesima intensità. — L'accoppiamento in parallelo delle dinamo eccitate in serie si ottiene riunendo fra loro i serrafili omonimi delle due dinamo, e gli estremi delle eccitazioni. — L'accoppiamento in serie delle dinamo eccitate in derivazione si ottiene riunendo in serie non solo l' armatura ma anche le eccitazioni, che risultano in tal modo derivate agli estremi delle due armature. — L'accoppiamento in parallelo delle dinamo eccitate in derivazione si ottiene riunendo fra di loro i poli omonimi delle due dinamo. — Le dinamo ad eccitazione composta si riuniscono in serie ed in parallelo seguendo per ciascuna delle eccitazioni le prescrizioni per le dinamo componenti.

Capitolo XII.

Impianto di una dinamo

Non parleremo quì delle condizioni a cui debbono rispondere i locali nei quali si impiantano le dinamo, riserbandoci di far ciò quando — negli IMPIANTI — considereremo i requisiti di una stazione di produzione di energia elettrica, ma ci limiteremo solo a considerare le particolarità riguardanti le dinamo ed il loro basamento, astrazion fatta da tutto quello, che, all' infuori di questo, possa ritenersi indispensabile per il buon funzionamento.

Il piano di posa delle dinamo deve rispondere a tre requisiti essenzialissimi, che, trascurati o messi in non cale, sono fonte di irregolarità somma nel funzionamen-

to, e che impongono -- quando l' impianto è stato già eseguito malamente — delle riparazioni che risultano molto onerose; mentre il badare alla esatta esecuzione delle norme indispensabili non rappresenta un eccessivo onere nello impianto della stazione di produzione.

Le condizioni a cui deve rispondere il piano di posa sono: perfetta immobilità, perfetta livellazione e perfetto isolamento dei circuiti della dinamo.

Su tutti e tre questi requisiti non è necessario spendere molte parole perchè sono evidenti come la luce del sole: i due primi sono comuni a qualunque sistema di macchine si adoperi, il terzo è dispensabile per le macchine che producono energia elettrica, per evitare la dispersione di corrente attraverso il suolo.

Le dinamo possono essere bullonate direttamente nel suolo, ed allora è da preferirsi un basamento di pietra da taglio o di calcestruzzo di cemento e questa disposizione si adopera specialmente per le piccole macchine per impedire il sollevamento o lo spostamento delle macchine per la trazione esercitata dalle cinghie che le collegano all'albero motore, oppure possono essere poggiate su traverse di ferro nelle quali sono bullonate nel caso che, dato il loro peso rilevante, non abbia a temersi tale inconveniente.

La seconda disposizione è preferibile alla prima, perchè permette gli spostamenti delle macchine in seguito agli allungamenti delle cinghie inevitabili col lungo funzionamento, e non impone la necessità di stare ogni tanto ad accorciare queste per riportare la loro tensione al valore necessario per impedire gli scivolamenti che danno quelle oscillazioni di velocità, che si tramutano in oscillazioni di potenziale, e quindi di luce, che sono tanto orribili negli impianti di illuminazione.

Non spendiamo molte parole per dare i particolari della

bullonatura delle macchine sia nelle pietre da taglio che nel calcestruzzo di cemento, perchè comuni a tutte le macchine a qualunque sistema esse appartengono: nel primo caso, secondo la pietra da taglio che si adopera, il bullone, fatto sempre a sagoma di tronco di piramide con sfettature riuscenti verso fuori negli angoli, si immerge in un foro leggermente foggiato a tronco di piramide anch'esso con la base più ristretta verso la parte superiore ed in esso si cola piombo fuso con pezzettini di ferro, o zolfo fuso perchè alcune pietre con l'andar del tempo si spezzano quando si adopera lo zolfo: nel caso che si adoperi calcestruzzo di cemento, si fa una colata di cemento non molto liquido e si aspetta che si solidifichi.

Talune volte per aumentare l'isolamento dell'incastellatura della dinamo dal basamento si cementano i bulloni di fondazione in isolatori di porcellana a loro volta assicurati fortemente nel pavimento.

Quando le dinamo si impiantano sulle traverse di ferro, si adoperano ordinariamante due ferri ad *u* affacciati per il lato verticale e nello spazio lasciato vuoto fra di essi si cala il bullone che si ferma al di sotto mediante doppio dado e rondella. In questa disposizione però di tanto in tanto bisogna andare a stringere i bulloni perchè essi con il movimento della dinamo finiscono col lentamente disserrarsi.

Nella prima disposizione, al di sotto della dinamo, si suole talvolta costruire un telaio di legno ben stagionato, ricoperto a caldo con qualche sostanza idrofuga e contemporanemente isolante; questo telaio si assicura al masso di basamento con bulloni prigionieri e la dinamo vi si ferma sopra con grosse viti con testa a dadi o preferibilmente con bulloni passanti, ed allora, per provvedere meglio all'isolamento dal suolo, al disotto del te-

laio si infilano nei bulloni degli anelli di sostanza isolante e si usa per essi a preferenza la fibra dura.

Non è necessario provvedere assolutamente all' isolamento dell' incastellatura delle dinamo dal suolo, anzi è preferibile, nelle dinamo ad elevato potenziale, di riunire questa con una buona terra per evitare le disgrazie che possono accadere a chi tocca la incastellatura mentre è venuta in contatto con un filo della dinamo.

Adottandosi la disposizione della incastellatura isolata dal suolo, devesi, come è prescritto dalle norme di sicurezza degli impianti, in vicinanza della macchina disporre un piano di manovra perfettamente isolato dal suolo, per evitare appunto le disgrazie a cui or ora abbiamo accennato e sulle quali ritorneremo parlando appunto di queste disposizioni.

Preparato in tal modo il basamento, sul quale deve collocarsi la dinamo, bisogna pensare alla montatura di essa.

La dinamo arriva ordinariamente in una o più casse a seconda delle sue dimensioni. Le piccole arrivano già montate e non si deve far altro che metterle a posto, verificare i circuiti e dar loro movimento per accertarsi del regolare funzionamento, o per scoprire i difetti che possono presentare.

Quando invece le dinamo presentano dimensioni grandiose non solo arrivano smontate nei diversi elementi, ma anche in varie casse, ed allora bisogna mettere la massima cura nella montatura, per ottenere la disposizione esatta dei diversi elementi.

In essa bisogna attenersi completamente ai disegni di assieme e di particolari inviati dalla casa costruttrice e bisogna richiederli nel caso che essi non siano stati inviati, perchè, in tal modo, si arriva alla conclusione in un tempo molto più breve ed in modo più sicuro di quello che si farebbe se essi mancassero.

Messa a posto la carcassa con gli induttori, si procede alla montatura dell' armatura che non deve essere mai manovrata sollevandola per il collettore, che, rappresentando la parte più delicata, deve avere i massimi riguardi in considerazione di tutti i danni che il suo deterioramento porta nel funzionamento.

Gran cura, d'altra parte, deve porsi per non arrecare danni agli avvolgimenti sia del circuito induttore che di quello indotto, danni che si risolvono sempre in deterioramenti dell'isolante, che, anche impercettibili, minano l'avvenire della macchina, che si monta, fin dal suo primo nascere.

Nella congiunzione dei fili dei vari circuiti bisogna preventivamente nettare le estremità di essi e le cavità dei morsetti con carta da smeriglio per ottenere contatti perfetti, bastando talvolta un contatto un poco sporco per impedire alla corrente di passare o per far diminuire di molto la intensità.

Messa a posto l'armatura, si vede da prima se essa si muove liberamente senza che i suoi avvolgimenti trovino ostacoli nelle espansioni polari, ed in questa prova si deve andare innanzi molto cautamente facendo muovere lentamente l'armatura e soffermandosi appena si determini il minimo ostacolo per impedire che, nel vincere questo, si deteriori l'avvolgimento indotto.

Quando si è sicuri della mancanza di ostacoli al movimento dell'armatura, si osserva se essa è perfettamente centrata, perchè, come abbiam visto, ogni dissemmetria si risolve in scintillio alle spazzole, in irregolare funzionamento ed in abbassamento sensibilissimo del rendimento.

Fatto ciò si passa all'esame dei circuiti verificando la popolarità degli induttori, badando anche agli attacchi fra circuito induttore e circuito indotto, verificando le

resistenze degli induttori, l' isolamento di esso e del circuito indotto dai nuclei rispettivi l' isolamento delle spazzole l'una dell'altra, e la continuità del circuito dell'armatura.

Si verificano le giunzioni dei circuiti dell' armatura col collettore, siano esse fatte mediante saldatura, che mediante viti e si correggono o si sostituiscono quelle che sono o imperfette o mancano del tutto.

Fatto ciò la dinamo sarebbe pronta a funzionare. Prima però di darle movimento si fa girare lentamente poggiando sul collettore una fina carta di smeriglio che deve essere tenuta fissa sulle sbarre mediante una tavoletta di legno che prenda tutta la lunghezza delle sbarre per ottenere un contatto uniforme su tutta la superficie, e per togliere in tal modo le piccole rugosità che il collettore può ancora presentare, senza comprometterne la tornitura. Dopo si netta ben bene la superficie del collettore, si strofina con una pezzuola imbevuta di alcool e finalmente si spalma con vasellina asciugando istantaneamente.

Naturalmente, in questo che abbiam detto, si suppone che il collettore arrivi già montato sull' asse e con le connessioni col circuito indotto già belle ed eseguite; nel caso che ciò non fosse, bisogna dapprima procedere a questa montatura, la quale deve, a sua volta, essere preceduta dalla preparazione delle diverse sbarre per metterle in condizioni di rispondere all' ufficio che debbono rappresentare. Per tale ragione si bolliscono da prima le sbarre in acqua calda con leggera soluzione caustica, dopo di averle ben nettate per eliminare ogni traccia di untuosità o di grasso. Nel caso che vi fossero parti in legno o in ebanite o in fibra dura bisogna sottoporre queste ad una bollitura, per qualche minuto, nella paraffina, per impedire qualsiasi dispersione di corrente, e

qualsiasi possibile contatto fra le sbarre del collettore e l'asse.

Ciò fatto si mettono a posto le sbarre verificando la sezione del collettore per vedere se risulta perfettamente circolare e sottoponendolo ad una vera tornitura nel caso che ciò non si riscontri.

Finalmente si procede alla giunzione delle estremità dei circuiti dell'armatura con le sbarre, seguendo il disegno annesso, onde evitare possibili false unioni.

Trattandosi di sbarre isolate l'una dall'altra semplice, mente da uno strato di aria — come avviene nelle dinamo Thomson - Houston — bisogna aver massima cura per evitare che corpuscoli metallici si intromettano fra di esse stabilendo dei veri corti circuiti, che debbono evitarsi assolutamente perchè causa di danni irreparabili, come più volte abbiamo notato.

Assicurati della perfetta montatura del collettore bisogna disporre le spazzole in modo che la dinamo possa ben funzionare.

I portaspazzole ordinariamente sono isolati dai supporti per mezzo di isolanti costituiti da blocchi di legno o meglio di ebanite o di fibra vulcanizzata od anche di ambroina. Essi, prima di esser messi a posto, debbono bollire per pochi minuti nella paraffina, per evitarsi qualunque dispersione di corrente.

I porta spazzole sono muniti di molle che servono a mantenere le spazzole con giusta pressione contro le sbarre del collettore, e di queste si deve verificare non solo il buono stato e la perfetta elasticità ma anche l'assoluta mancanza di parti ossidate, come pure bisogna accertarsi che non sia ossidata la parte del portaspazzole che deve venire in contatto con le spazzole per assicurare la perfetta continuità conduttiva

Nel portaspazzole si affidano le spazzole, che sono di

aspetto varissimo a seconda della sostanza della quale sono costituite. Le spazzole metalliche si dispongono inclinate rispetto alla normale alla superficie del collettore nel punto di contatto, laddove quelle di carbone — che si sono generalizzate in quasi tutti gli impianti moderni — si dispongono normalmente al collettore, e sono, il più delle volte, rivestite da una guaina di rame che le accompagna fin presso alla estremità per diminuirne la resistenza piuttosto elevata, che, d'altra parte, aumentando la resistenza delle spirali chiuse in corto circuito, favorisce la sparizione delle scintille e permette uno spostamento delle spazzole al di là del diametro teorico di commutazione minore di quello che è necessario per le spazzole metalliche, diminuendo in tal modo la reazione dell'armatura.

Al giorno d'oggi invece di rivestire con una guaina metallica le spazzole di carbone si sogliono ricoprire di un rivestimento di rame ottenuto mediante deposito elettrolitico, eliminando in tal modo l' inconveniente delle guaine che possono presentare un contatto più o neno perfetto con le spazzole.

Devesi badare che queste presentino una superficie di contatto col collettore proporzionale alla intensità della corrente che debbono raccogliere, ed ordinariamente si assegnano tre millimetri quadrati di sezione per ogni ampère per le spazzole di rame e dodici millimetri quadrati per quelle di carbone, e ciò per ottenere con queste una resistenza quasi identica a quella presentata dalle spazzole di rame che hanno una resistenza tre o quattro volte più piccola ed in valore assoluto di circa 0,011 ohm per centimetro quadrato.

Allorchè si adoperano spazzole metalliche, se esistono indicazioni precise nei disegni o sagome che indichino la posizione dei portaspazzole e la sporgenza delle spaz-

zole, bisogna attenersi ad esse senz'altro, ma se tutto ciò non esiste si deve cominciare col fissare le spazzole in modo che vengano a trovarsi le punte anteriori lungo una medesima linea di isolante esistente fra una sbarra e la successiva del collettore, e le spazzole del secondo portaspazzole nel medesimo modo, ma diametralmente opposte. Per accertarsi della posizione giusta si contano il numero di sbarre che si trovano da una parte e dall'altra e si verificano se i due numeri sono eguali, spostando uno dei portaspazzoli fino ad ottenere questa perfetta eguaglianza.

Questo riguarda la disposizione delle spazzole nel caso di dinamo bipolare: se invece si tratta di dinamo multipolare, in cui la distanza fra i portaspazzole fa sì che fra di esse interceda un angolo variabile, allora bisogna tracciare una sagoma che comprenda l'angolo di cui debbono essere distanziate le spazzole ed in tal modo procedere alla loro disposizione.

È inutile dire che le spazzole metalliche, che si dispongono inclinate, debbono presentare la inclinazione in tale direzione da non essere mai prese di punta nel movimento di rotazione, perchè altrimenti finerebbe non solo col logorare sè stesse ma anche il collettore.

Si tratti di spazzole metalliche o di spazzole di carbone deve darsi ad esse una giusta pressione, che, mentre assicuri un contatto perfetto col collettore, non deteriori ben presto quest'ultimo. Per arrivare a tale risultato, messo in movimento la dinamo con le spazzole pressate un po' sforzatamente, si sposta il portaspazzole nella direzione del movimento fino a che lo scintillio viene ad essere del tutto eliminato. Ciò ottenuto si comincia a diminuire la pressione delle spazzole, mentre la dinamo è in movimento, fino a che cominciano a determinarsi

insensibili scintille, appena ciò si verifica si aumenta di piccola cosa la pressione e si ha il suo valore giusto

La stessa manovra si esegue per la determinazione della posizione delle spazzole rispetto al diametro di comutazione, arrestandosi proprio nell' istante in cui sparisce lo scintillio e non spingendosi oltre, perchè—come abbiam visto parlando della reazione dell'armatura—si verrebbe a diminuire inutilmente la potenzialità della dinamo.

Le spazzole, prima di esser messe a posto, quando sono metalliche, debbono essere lavate sia in alcool che in soluzione di potassa calda, per eliminare ogni traccia di grasso, e debbono essere bene strette nei portaspazzole, cosa che deve verificarsi anche per le spazzole di carbone.

Dopo di ciò, assicuratici della perfetta lubrificazione, e della giusta unione della dinamo all' asse motore, sia per mezzo di cinghia, che per unione elastica, nel caso che trattisi di dinamo direttamente accompiata al motore, si mette in movimento la dinamo e si vede se essa funziona regolarmente oppur no: in questo secondo caso bisogna determinarne i difetti, ricercarne le cause, e provvedere alla loro eliminazione—se è possibile—con le norme che abbiamo dato nel Capitolo X in cui abbiamo parlato appunto dei difetti delle dinamo e della loro eliminazione.

RIASSUNTO

Il piano di posa delle dinamo deve essere perfettamente rigido, ben livellato, e isolato dai circuiti che conducono corrente. — Le dinamo possono impiantarsi sia su fondazioni in pietra da taglio quando sono piccole, che su un piano scorre-

vole formate da guide di ferro. — La dinamo deve essere montata seguendo le disposizioni e i disegni forniti dalla casa costruttrice — L'armatura non deve essere mai manovrata sollevandola per il collettore. — Le congiunzioni dei fili debbono essere ben nettate prima di essere eseguite. — L'armatura deve essere ben centrata ed il collettore deve essere ben levigato prima di mettere in funzionamento la dinamo. — Prescrizioni da eseguirsi per il montaggio del collettore e delle spazzole. — Pressione da darsi alle spazzole. — Spostamento di queste dal diametro teorico di commutazione. — Lubrificazione, verifica delle cinghie, o delle unioni elastiche, messa in moto dalle dinamo.

Capitolo XIII.

Collaudo delle dinamo - Rendimento

Ben poco ci resta a dire del collaudo di una dinamo dopo quanto finora abbiamo considerato. Per dare le norme da tenere in questa verifica non ci resta a fare altro che richiamare le diverse operazioni da eseguire ed a cui già abbiamo accennato nei capitoli precedenti con altri intendimenti.

Il collaudo di una dinamo assume una importanza diversa a secondo che esso deve essere fatto sulla macchina così come è spedita dalla casa costruttrice, per verificare se essa risponde ai requisiti richiesti, funziona normalmente ed è quindi accettabile, o se deve eseguirsi sulla macchina già impiantata in officina per determinare non solo questo, ma se il complessivo impianto di essa ri-

sponde al regolare funzionamento che da essa si deve pretendere.

Noi studieremo entrambi i casi complessivamente, o per meglio dire cominceremo dal secondo e poi diremo quali determinazioni non si debbono fare nel caso che si tratti di collaudare la macchina solo nei rapporti della casa costruttrice.

La prima cosa a verificare è se la dinamo si trovi impiantata in un locale asciutto e ben aerato — e su ciò ritorneremo spiegandone tutta la importanza quando parleremo degli impianti delle stazioni di produzione della energia elettrica — se il piano di posa è rigido e perfettamente livellato, se la macchina è isolata dal suolo, misurando l' isolamento dei suoi circuiti in rapporto delle condutture di acqua o di gas che si ritengono essere le migliori terre disponibili, mediante uno dei metodi di misura di resistenza di isolamento che studieremo quando tratteremo delle misure delle quantità elettriche (1).

Nelle dinamo ad elevato potenziale bisogna verificare se la carcassa sia perfettamente isolata dal suolo, ed in tal caso se in vicinanza si trovi un piano di manovra anche esso isolato per evitare che avvengano disgrazie al personale che deve manovrare in vicinanza delle dinamo. Se le dinamo non hanno le carcasse isolate dal suolo cessa la necessità di questo piano di manovra iso-

---

(1) A quest' uopo basterebbe anche una misura eseguita con una batteria di pile ed un galvanometro molto sensibile mettendo gli estremi del circuito in contatto da una parte con gli avvolgimenti di cui si vuole misurare l'isolamento e dall'altra con le condutture di acqua o di gas, o anche con l'acqua fluente ed il galvanometro deve rimanere assolutamente immobile Naturalmente tale misura, fatta in questo modo, riesce tanto più concludente, quanto più grande è la sensibilità del galvanometro che si adopera e quanto più grande è il numero di elementi che compongono la batteria che si ha a disposizione.

lato. Ma anche a questo riguardo ci estenderemo molto di più quando considereremo gli impianti delle stazioni di produzione.

Si deve verificare la perfetta corrispondenza della puleggia della dinamo con quella motrice, o la perfetta corrispondenza dell' asse motore con quello della dinamo nel caso di attacco diretto, e poi si passa ad esaminare il funzionamento della dinamo.

L'isolamento dei circuiti della dinamo, di cui già abbiamo parlato, deve essere anche misurato in funzionamento, perchè può darsi il caso — specie per elevati potenziali — che una dinamo, che si presenti perfettamente isolata, quando si trova inoperosa, sotto l'azione dell'elevato potenziale, presenti un isolamento se non irrisorio certo tale da non potersi accettare; anzi potrebbesi addirittura fare a meno delle prime misure a macchina ferma ed eseguire sólo queste seconde che sono quelle che realmente interessano, perchè rispondono a ciò che si riscontra nel reale funzionamento dell' apparecchio.

Fin qui si tratta di prove necessarie solo nel caso di collaudo generale, quelle, invece, a cui ora accenneremo sono comuni ad entrambi i casi, dei quali abbiamo parlato in principio di questo capitolo.

La prima determinazione a fare è quella di una sommaria verifica delle dimensioni della dinamo per accertarci se essa corrisponde alla potenza per la quale è stata impiantata, secondo le buone norme costruttive che possono riassumersi brevemente nelle seguenti:

Induzione magnetica negli induttori di ferro fucinato	10,000 a 12,000	Unità	C. G. S.
Induzione magnetica negli induttori di ghisa	6,000 a 8,000	»	»
Induzione magnetica nell'interferro	3,000 a 6,000	»	»

Induzione magnetica nell'indotto a tamburo	10,000 a 12,000	Unità C. G. S. » »
Induzione magnetica nell'indotto ad anello	12,000 a 18,000	» »
Densità della corrente per mm^2 negl' induttori	1,5 a 2,00	Ampère
Densità della corrente per mm^2 nell' indotto	3,5 a 4,5	»
Superficie di raffreddamento negl' induttori	10 a 20 cm^2	per watt
Superficie di raffreddamento nell' indotto	3,5 a 5	» » »
Caduta di potenziale dovuta all'isteresi, riscaldamento, correnti di Foucault ecc. nell' armatura ad anello	circa 3.*ri*	volt (1)
Caduta di potenziale dovuta all'isteresi, riscaldamento, corrente di Foucault ecc. nell'armatura a tamburo	circa 1,5 *ri*	
Caduta di potenziale dovuta all' isteresi riscaldamento, corrente di Foucault ecc. nell' armatura a disco	0	
Massima differenza di potenziale fra due sbarre adiacenti del collettore	4 a 5	volt

Messa in moto la dinamo, si verifica se essa funziona regolarmente, ossia se non presenta alcuno degli inconvenienti ai quali abbiamo accennato parlando del funzionamento delle dinamo e dei rimedi necessari per eliminarli quando era possibile.

(1) Essendo *ri* la caduta di potenziale dovuta alla resistenza ohmica.

Dopo si passa ad esaminare se la dinamo presenti un riscaldamento eccessivo, causa di danni irreparabili a cui abbiamo accennato anche nel medesimo capitolo dei danni, e finalmente si verifica se alla velocità normale sviluppa la differenza di potenziale normale con la intensità normale: ossia se fornisce la potenza per la quale è stata impiantata.

Espletato tutto questo esame sembrerebbe che fosse finito il compito del collaudatore e che la dinamo che si fosse mostrata buona sotto tutti i punti di vista precedentemente considerati fosse accettabile senza altro, però non è così. Resta ancora ad esaminare un altro importantissimo aspetto del suo funzionamento, aspetto che si tramuta in danaro sonante per chi assume l'esercizio dell'impianto: resta a determinare il RENDIMENTO.

E qui bisogna bene intendersi per non errare, perchè troppo confusione si è fatta a questo riguardo: noi considereremo solo il RENDIMENTO INDUSTRIALE che è quello che realmente interessa, trattando in nota delle altre specie di rendimenti.

Il RENDIMENTO INDUSTRIALE *di una dinamo è il rapporto che passa fra la energia elettrica che la dinamo fornisce ai poli del circuito esterno e la energia meccanica che si spende sull'albero della dinamo stessa*: è cioè il quanto per cento della energia fornita può essere utilizzato sotto forma di energia elettrica, e naturalmente quanto più elevata è questa percentuale tanto più preferibile è la macchina che si sta collaudando (1).

(1) Se si indica con P la *energia meccanica* che si spende per mettere in moto la dinamo e con w la *energia elettrica* disponibile ai serrafili di essa si ha che il *rendimento industriale* η è espresso dalla formola seguente:

$$\eta = \frac{w}{P} \quad (1)$$

Il rendimento industriale delle dinamo è molto elevato: esso è andato man mano crescendo col perfezionarsi dei sistemi costruttori, ed al giorno d'oggi una dinamo che presenta un rendimento industriale inferiore al 90 °/₀ deve assolutamente scartarsi quando si considera che si arriva a rendimenti che superano il 94 °/₀ e qualche volta anche il 95 °/₀.

Questa formola può assumere una espressione più comprensiva se si sostituisce alla energia w il suo valore cioè il prodotto della *differenza di potenziale e* disponibile ai poli del circuito esterno per la intensità di corrente i che circola nel circuito esterno cioè:

$$\eta = \frac{ei}{P} \quad (2)$$

Gli altri rendimenti di cui si suole parlare sono il *rendimento meccanico* ed il *rendimento elettrico.*

Il *rendimento meccanico* è rappresentato dal rapporto fra la energia elettrica W generata nell'armatura e la *energia meccanica* P spesa per mantenere in movimento la dinamo, ossia rappresenta la percentuale della energia fornita che può essere trasformata in energia elettrica: e quindi il *rendimento meccanico* è espresso da

$$\alpha = \frac{W}{P} \quad (3)$$

In questa formula la energia elettrica W è quella generata nell'armatura e che è ben diversa da quella che si può utilizzare nel circuito esterno, come abbiamo visto parlando delle diverse specie di dinamo. Ciò premesso se si indica con E la forza elettromotrice generata dall'armatura e con I la intensità che in essa armatura circola, il *rendimento meccanico* assume questo aspetto:

$$\alpha = \frac{E \cdot I}{P} \quad (4)$$

Il *rendimento eletttrico* invece è il rapporto che passa fra la *energia elettrica* che si può utilizzare nel circuito esterno w e la *energia elettrica* generata nell'armatura W: ossia rappresenta la percentuale della energia elettrica generata che può utilizzarsi nel circuito esterno: essa è espressa dalla seguente formola:

$$\beta = \frac{w}{W} \quad (5)$$

Noi non insistiamo qui sul metodo da tenere nella misura del rendimento industriale perchè tratteremo di ciò nei metodi di misura, facciamo solo notare che si può ottenere una misura, di grande precisione facendo astrazione da qualsiasi misura di ordine meccanico e restringendosi solo a misure elettriche.

È inutile aggiungere — per concludere — che questa del rendimento è la misura più essenziale che sulle dinamo si possa eseguire

RIASSUNTO

Il collaudo delle dinamo deve accertare il loro perfetto funzionamento sia come macchinario che come istallazione. — Il locale deve si impiantano le dinamo deve essere bene asciutto ed areato. — Il piano di posa deve essere rigido, ben livellato ed isolato dai circuiti. — Bisogna verificare se in vicinanza delle dinamo ad alto potenziale con la carcassa isolata dalla fondazione esista un piano di

---

ossia tenendo conto dei valori di w e di W:

$$\beta = \frac{ei}{E \cdot I} \quad (6)$$

Moltiplicando le espressioni (4) e (6) fra di loro si ha:

$$a \times \beta = \frac{E \cdot I}{P} \times \frac{ei}{E \cdot I} = \frac{ei}{P} \quad (7)$$

ossia

$$\alpha \beta = \frac{ei}{P} = \eta$$

Il *rendimento industriale* è quindi eguale al prodotto degli altri due rendimenti, *il meccanico* e *l'elettrico*, ed è tanto più grande quanto più grandi sono i due fattori da cui essso è composto.

manovra ferfettamente isolato. — Deve verificarsi lo stato degli organi di trasmissione del movimento.— Deve verificarsi l'isolamento dei diversi circuiti.— Deve eseguirsi una sommaria verifica delle dimensioni della dinamo per determinare approssimativamente la sua potenza. — Messa in moto la dinamo deve verificarsi se esiste qualcuno degli inconvenienti considerati nel capitolo X, e specialmente deve veficarsi la temperatura dei vari circuiti. — Bisogna determinare il rendimento industriale delle dinamo.

PARTE QUINTA

Alternatori

Capitolo I.

Generalità sugli alternatori

Un alternatore è una dinamo a corrente continua in cui si fa a meno del collettore sezionato, e da cui, quindi, si ottiene nel circuito esterno la corrente alternata, tale e quale viene generata nell' armatura.

Con gli alternatori noi possiamo ottenere differenze di potenziale molto superiori a quelle che possono fornire le dinamo, anche multipolari in cui il numero dei poli sia spinto al massimo possibile, perchè in esse, per questioni elettriche e non meccaniche, vi è un limite alla sopraelevazione del potenziale. Ed industrialmente difficilmente si arriva a superare una differenza di potenziale di 1000 volt nelle dinamo multipolari a corrente continua.

La ragione di questo limite massimo, oltre il quale non si può andare, sta nella difficoltà dell' isolamento fra le successive sbarre del collettore. La differenza di potenziale libera ai poli di ciascuna spira, cioè fra due sbarre successive del collettore, aumenta con la differenza di potenziale libera ai poli della dinamo, ed allora ben presto si arriva ad un punto per cui, anche adope-

rando isolanti perfettissimi, quali fibra vulcanizzata, mica, micanite od ambroina, non si può più impedire il passaggio della corrente da una sbarra alla vicina attraverso l'isolante, e la dinamo non può più funzionare.

Tale inconveniente non esiste negli alternatori, dai quali, quindi, possiamo avere differenze di potenziale molto più forti di quelle che otteniamo dalle dinamo, differenze di potenziale che sono limitate unicamente dal valore massimo del flusso che si può realizzare e dalla massima velocità che si può raggiungere in rapporto alla coesione dei materiali adoperati.

Non esiste, per gli alternatori, la limitazione della forza elettromotrice, perchè non si trova in essi il collettore sezionato, e, quindi, non vi è più la possibilità degli archi fra sbarra e sbarra. I diversi anelli, che costituiscono il collettore, si possono mettere a tale distanza l'uno dall'altro per cui risulti impossibile qualsiasi comunicazione conduttiva sia attraverso l'aria, che attraversa l'isolante solido che li separa.

Una spira rettangolare, che gira intorno ad un asse normale alle linee di forza, trovandosi essa situata normalmente alla direzione del campo, sia tale asse concentrico alla spira che eccentrico ad essa, è sede di una forza elettromotrice alternata della forma sinusoidale.

$$e = E\, sen.mt.$$

Se facciamo a meno del raddrizzatore Pacinotti e facciamo terminare gli estremi della spira a due anelli conduttori, isolati dall'asse e fra di loro, anelli che girano solidalmente con la spira, e se vi poggiamo su due spazzole, comunque disposte, raccogliamo nel circuito esterno una corrente alternata.

Nella spira che gira in un campo magnetico uniforme si ha l'embrione di un alternatore.

Per poter, però, raccogliere dal collettore una corrente alternata, quando si aumenta il numero delle spire, bisogna adoperare un accorgimento particolare nell'eseguire l'avvolgimento. Bisogna invertire il senso delle spire di mezza armatura, per non avere alle spazzole, che ora si trovano agli estremi del circuito unico, che è aperto e non è più chiuso, una corrente perfettamente nulla, nascente dalla neutralizzazione delle due identiche e di segno contrario generate nelle due semiarmature.

Questa inversione, però, è inutile quando, come avviene per le dinamo, il circuito dell'armatura è chiuso, ed allora basta unire con i due anelli conduttori due punti dell'avvolgimento diametralmente opposti.

La medesima accortezza, nel caso di avvolgimento aperto, bisogna spiegare quando l' alternatore ha un induttore multipolare, e cioè bisogna invertire il senso dell'avvolgimento in modo che innanzi a poli eteronimi si trovino spire avvolte in senso contrario, perchè solo così si può ottenere, nel circuito esterno, una corrente utilizzabile.

Per quanto riguarda l' eccitazione, per lungo tempo non si è fatto distinzione fra autoeccitazione ed eccitazione indipendente, perchè solo a quest' ultima si ricorreva, basandosi sulla considerazione che il fenomeno della induzione si manifesta regolarmente nelle spire indotte solo quando il campo inducente presenta non solo costanza nella direzione, ma anche perfetta uniformità nel valore.

Si sono fatti, però, dei tentativi per ottenere l'autoeccitazione negli alternatori, raddrizzando su un opportuno collettore, tipo Pacinotti, una porzione della corrente generata nell' armatura, ma non si sono ottenuti dei rendimenti convenienti.

Questi tentativi continuano ancora oggi, e diverse disposizioni si sono adottate per ottenere una autoeccita-

zione, specialmente per la regolazione, arrivando a dei tipi simili al sistema composto adoperato per le dinamo, e sui quali fermeremo la nostra attenzione nel capitolo in cui tratteremo la REGOLAZIONE DEGLI ALTERNATORI.

Nel caso di autoeccitazione, qualunque sia il sistema che si adoperi, se l'alternatore è ad alto potenziale, la corrente di eccitazione deve essere abbassata di potenziale per non adoperare un isolamento speciale pei circuiti inducenti.

Quello che ora a noi importa determinare è il VALORE EFFICACE della forza elettromotrice, che viene fornita dall'alternatore, perchè esso è quello che deve prendersi in considerazione in tutte le applicazioni che si vogliono tentare, rappresentando, come altra volta lo abbiamo definito, il valore che dovrebbe avere una corrente costante applicata al circuito per produrre il medesimo effetto.

Per arrivare a questo risultato cominciamo col determinare il VALORE MEDIO dal quale potremo risalire subito al VALORE EFFICACE sapendo il rapporto che fra di essi sussiste.

Consideriamo, come nel caso delle dinamo, che si tratti di un campo bipolare, e che le due mezze armature siano unite in parallelo fra di loro, e, allora, ripetendo il medesimo ragionamento, arriviamo ad un identico valore della forza elettromotrice media

$$e_{media} = nN\varphi \ldots\ldots\ldots\ldots volt$$

che porta ad un valore efficace (1):

$$e_{efficace} = 1{,}11\, nN\varphi = KnN\varphi$$

---

(1) La dimostrazione di questa formola è semplicissima. — Noi sap-

Nel caso che le connessioni dei circuiti dell' armatura siano in serie si ottiene invece una forza elettromotrice doppia, cioè:

$$e_{efficace} = 2{,}22\ nN\varphi = KnN\varphi$$

In questa formola il significato dei simboli è identico a quello adottato per la trattazione delle dinamo, cioè n è il numero di giri che l'armatura compie a minuto primo, N è il numero dei conduttori che si trovano sulla periferia esterna dell' indotto (comprendendosi con tale indicazione anche il caso dell' indotto tamburo) e φ il flusso che attraversa il circuito indotto.

Trattandosi di generatori a corrente alternata è opportuno far entrare nella formola anche la FREQUENZA os-

---

piamo — per quanto abbiamo detto nel 1° volume a pag. 261 — che

$$e_{media} = \frac{2}{\pi} E \ldots\ldots (1)$$

in cui E è il valore massimo della forza elettromotrice sinusoidale, e d' altra parte che

$$e_{efficace} = \sqrt{\frac{E^2}{2}} \ldots\ldots (2)$$

Nella formola (1) sostituendo il valore della forza elettromotrice media si ha:

$$nN\varphi = \frac{2}{\pi} E$$

da cui ricavando il valore di E, cioè

$$E = \frac{\pi}{2} nN\varphi$$

e sostituendolo in (2) si ha:

$$e_{efficace} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} nN\varphi = 1{,}11\ nN\varphi = KnN\varphi$$

sia il numero di alternative compiute a minuto primo. Fino a che si tratta di induttore bipolare ad ogni giro corrisponde una alternativa completa e quindi il numero n di giri è eguale al numero di alternative, ossia alla frequenza f, ed allora, volendo far comparire questa quantità nella formola, si può scrivere direttamente

$$e_{efficace} = KfN\varphi \text{ volt} \quad \ldots\ldots (1)$$

Nel caso di alternatori multipolari la forza elettromotrice, come per le dinamo, aumenta proporzionalmente al numero di coppie di poli p e quindi diventa:

$$e_{efficace} = KpnN\varphi.$$

Qui la frequenza è eguale a pn perchè, per ogni coppia di poli abbiamo una alternativa, ed allora sostituendo la frequenza f al prodotto pn la formola (1) può servire tanto per alternatori bipolari che per quelli multipolari.

RIASSUNTO

Gli alternatori possono generare correnti ad altissimo potenziale perchè non avendo il collettore sezionato non hanno alcun limite dovuto allo imperfetto isolamento fra le diverse sbarre del collettore. — Una spira rettangolare, che ruota in un campo magnetico uniforme e costante, unita per gli estremi a due anelli metallici che ruotano con essa, genara una corrente alternata che può utilizzarsi in un circuito esterno poggiando due spazzole in una posizione qualsiasi su questi. — Allorchè si adottano più spire indotte esse possono essere col-

legate fra di loro sia in parallelo come nelle dinamo, che in serie. — Per la riunione in parallelo debbono riunirsi a due anelli due punti dell' avvolgimento diametralmente opposti. Per la riunione in serie si unisce il principio dell'avvolgimento ad un anello e la fine all'altro, invertendo metà dell' avvolgimento nel caso di alternatori bipolari o alternativamente una porzione si ed una no stabilendo la inversione a distanze eguali a quelle polari nel caso di alternatori multipolari. — Valore efficace della forza elettromotrice generata da un alternatore in funzione del numero di giri e della frequenza.

Capitolo II.

Diverse specie di alternatori

Gli alternatori, non potendosi differenziare a seconda delle diverse specie di eccitazione, perchè abbiam visto come si adotti quasi generalmente la eccitazione indipendente, possono classificarsi secondo il principio fondamentale sul quale vengono costruiti.

Noi—parlando dei fenomeni di induzione elettromagnetica—nel primo volume, abbiamo accennato ai diversi modi con cui si può ottenere in un circuito una corrente indotta, ed in seguito all'esame complessivo di essi siamo arrivati alla conclusione che IN UN CIRCUITO CHIUSO VI È GENERAZIONE DI CORRENTE INDOTTA SEMPRE CHE ATTRAVERSO DI ESSO SI DETERMINI UNA VARIAZIONE QUALSIASI DI FLUSSO. Or poichè noi possiamo ottenere questa variazione di flusso sia facendo muovere il circuito indotto che il circuito in-

ducente, sia restando fermi entrambi ma fecendo variare la permeabilità del mezzo, abbiamo tre sistemi di alternatori: 1. ALTERNATORI A CIRCUITO INDOTTO MOBILE ED INDUTTORE FISSO; 2. ALTERNATORI A CIRCUITO INDOTTO FISSO E A CIRCUITO INDUTTORE MOBILE; 3. ALTERNATORI AD INDOTTO ED INDUTTORE FISSO ED A PERMEABILITÀ VARIABILE, detti anche ALTERNATORI A FERRO ROTANTE.

1. Gli alternatori appartenenti al primo tipo non hanno alcuna differenza con le dinamo ordinarie tranne nel modo di connessione delle spire al collettore come già innanzi abbiamo accennato e su di ciò è inutile più a lungo soffermarci.

2. Negli alternatori ad induttore mobile, ordinariamente, questo è interno e l' indotto resta esterno, per facilitare non solo la costruzione, ma per rendere anche più stabile l'andamento della macchina nel funzionamento.

In questa disposizione non vi è più necessità di collettore sul circuito indotto, perchè, esso restando immobile, bastano due serrafili a cui arrivino gli estremi del circuito dell'armatura ed ai quali si attacchi il circuito esterno.

Però il collettore, che manca per il circuito indotto, deve esistere per quello inducente, che deve ricevere la corrente di eccitazione durante il movimento. Per raggiungere tale scopo si calettano sull'asse due anelli metallici, isolati da questo e fra di loro, in unione coi due estremi del circuito di eccitazione, a cui si fa pervenire la corrente mediante due spazzole, che, strisciando sugli anelli, li mettono in comunicazione con la macchina eccitatrice.

3. Negli alternatori a ferro rotante, in cui entrambi i circuiti induttore ed indotto sono fissi, il collettore sparisce del tutto, non si trovano più tracce di spazzole, ma

si riscontrano solo serrafili che mettono in comunicazione tanto col circuito inducente che con quello indotto.

La variazione della PERMRABILITÀ si ottiene mediante una disposizione che ha fatto dare all'altematore, che ora stiamo esaminando, il nome di ALTERNATORE A FERRO ROTANTE.

Fra il circuito inducente e l' indotto si muove, rotondo, una campana di ferro il cui bordo non è continuo, ma dentato, in modo che si succedono pieni a vuoti, di spessore identico. Col rotare di questa campana, secondo che innanzi ad una spira indotta si trovi un pieno od un vuoto si ha una permeabilità massima o minima, e corrispondentemente a questa variazione di permeabilità, che determina una variazione di flusso, si ottiene la corrente indotta che è quella che si utilizza nel circuito esterno.

Ma gli alternatori, oltre a differenziarsi pel principio sul quale il loro funzionamento è basato, possono anche differenziarsi per il tipo di armatura.

Anche quì possiamo avere, come nelle dinamo, armature ad anello o armature cilindriche, e finalmente armature a disco; con la avvertenza però, che, quando l' induttore è mobile, non può l'armatura presentare altro aspetto che quello di anello, salvo le particolarità di costruzione alle quali accenneremo in seguito.

Nel caso di alternatore a disco, devesi avere, come nelle dinamo, la doppia corona di poli affcciati in modo da corrispondersi di contro poli eteronimi, e sul medesimo disco succedersi questi anche in modo alternato.

Le armature a disco possono anche negli alternatori essere sfornite di nuclei di ferro, e, solo in questo caso, la forza elettromotrice generata si avvicina moltissimo, e quasi coincide con la forma sinusoidale, per la mancanza di reazione dell' armatura e dell' isteresi che ne snaturano negli altri tipi l'andamento. Ma negli alternatori praticamente ci si contenta di allontanarsi molto da

questo aspetto pur di aver un rendimento molto elevato, che non può, per niente, sperarsi con l' indotto senza ferro, tanto più che, per ottenersi la vera forma sinusoidale, devesi avere completa assenza di apparecchi induttivi anche nel circuito di utilizzazione.

Gli avvolgimenti dell' armatura, qualunque sia il sistema che si adopera, possono essere a circuito chiuso od a circuito aperto, cioè possono essere riuniti in parallelo od in serie. La disposizione a circuito chiuso non fa altro che perpetuare quello che si è avuto nella dinamo eliminandosi solo le connessioni col collettore e riunendosi ai due anelli calettati sull'asse due punti diametralmente opposti dell'avvolgimento.

La disposizione in serie, invece, suppone la riunione del principio della prima spira ad uno degli anelli del collettore e quella dell'estremo dell'ultima spira all'altro anello. Però, in questa seconda disposizione, nel caso di nna dinamo bipolare, bisogna pensare ad invertire il senso di mezzo avvolgimento per impedire che le correnti di senso contrario, che si generano nelle due mezze armature, ora che sono riunite in serie, si neutralizzino e nel caso di alternatori multipolari bisogna dividere l'avvolgimento in tante parti eguali quanti sono i poli ed invertire alternativamente le connessioni per ovviare al medesimo inconveniente.

Negli alternatori si preferisce questa seconda disposizione alla prima, perchè con essa si ottiene una forza elettromotrice doppia a parità di velocità dell'armatura, e noi abbiamo detto che gli alternatori trovano la loro ragione di essere specialmente negli elevati potenziali di cui si ha bisogno per le trasmissioni di energia a grande distanza.

Per la medesima ragione difficilmente trovansi alternatori bipolari, ma quasi sempre alternatori multipolari,

perchè, anche in essi, come nelle dinamo, la forza elettromotrice generata, a parità di volocità, cresce proporzionalmente al numero delle coppie dei poli che la macchina possiede, perchè viene in tal modo ad aumentarsi la velocità delle spire rispetto ai campi induttori

RIASSUNTO

Tre sono i tipi principali di alternatori: 1.° a circuito induttore fisso ed indotto mobile, con collettore sul circuito indotto per raccogliere la corrente generata da esso: 2.° a circuito indotto fisso e ad induttore mobile con collettore su quest' ultimo per inviare in esso la corrente di eccitazione: 3.° a ferro rotante, con entrambi i circuiti fissi e senza collettore. — Nei riguardi dell'armatura gli alternatori possono distinguersi in alternatori con indotto a tamburo, ad anello, e a disco. — La forma della forza eletromotrice, generata dall'alternatore, è sinusoidale solo quando l' armatura non presenta nucleo di ferro e nel circuito esterno non vi sono apparecchi induttivi. — Le sezioni del circuito indotto possono essere riunite fra loro in serie o in parallelo, preferendosi la prima unione nel caso che necessita una elevata differenza di potenziale. — Per la medesima ragione dell'elevato potenziale gli alternatori si costruiscono generalmente con circuito induttore multipolare.

CAPITOLO III.

Alternatori polifasi

Supponiamo di avere due alternatori identici che forniscano la medesima differenza di potenziale e siano calcolati per la stessa intensità: entrambi danno la medesima curva di differenza di potenziale, e, se le armature sono calettate sul medesimo asse, in modo che si debbano muovere con la medesima velocità, e gli avolgimenti sono situati identicamente rispetto ai circuiti inducenti, le due forze elettromotrici sono perfettamente identiche, anche come corrispondenza dei valori istantanei, verificandosi gli zeri ed i massimi nei medesimi istanti.

Se invece la seconda armatura è girata rispetto alla prima di 90 gradi indietro, allora, pur fornendo la medesima curva di differenza di potenziale, non può più questa trovarsi in concordanza con la precedente, non può più ad essa sovrapporsi, ma si trova spostata rispetto ad essa di un quarto di periodo in ritardo, per quanto è stato lo spostamento che si è dato alla seconda macchina. I due alternatori mantenuti così in movimento dànno quindi differenze di potenziale spostate di fase l'una rispetto all'altra di un quarto di periodo ossia di 90°: dànno cioè due differenze di potenziale in quadratura.

L' insieme di queste due correnti rappresenta quello che chiamasi un SISTEMA BIFASE, perchè si hanno due correnti che presentano differenti fasi.

Supponiamo invece di avere un solo sistema induttore nel quale si muovano due armature di alternatori calettate sul medesimo asse e perfettamente identiche; nel movimento si hanno due correnti perfettamente identiche

e completamente sovrapponibili perchè IN FASE l'una con l'altra.

Se, però, nel calettare la seconda armatura sull'asse, noi la spostiamo rispetto alla prima di 90°, otteniamo, nel movimento, due correnti, che, pure identiche, non sono più sovrapposte ma si trovano spostate di 90° l'una rispetto all'altra ed otteniamo il medesimo fenomeno che avevamo quando i campi inducenti erano differenti.

Si ha anche quì un sistema BIFASE fornito da una macchina a duplice armatura, ma con un solo circuito induttore. Non deve farsi più che un passo solo per arrivare alla concezione dell' ALTERNATORE BIFASE quale effettivamente lo si intende nell' industria. Basta eliminare il secondo indotto e eseguire sul primo un secondo avvolgimento spostato come disposizione rispetto al primo di 90 gradi, perchè da entrambi gli avvolgimenti si abbiano due correnti spostate fra di loro di un quarto di periodo, ossia di 90°.

Quello che si è detto per il caso esaminato, in cui si è supposto, per semplicità di dizione, un alternatore bipolare, si ripete parola per parola per alternatori multipolari, sostituendo, naturalmente, allo spostamento di 90° del secondo circuito relativamente al primo, lo spostamento di un mezzo passo polare, ossia di mezza distanza fra un polo nord ed il vicino polo sud, o di un quarto della distanza fra due poli nord successivi.

Per raccogliere nel circuito esterno le due correnti a 90°, nel caso di indotto mobile, bisogna calettare sull'asse quattro anelli isolati fra di loro e dall' asse, a ciascuna coppia dei quali terminano gli estremi di un circuito, proprio come se si trattasse di due alternatori distinti; nel caso invece che fosse l'indotto fisso allora bisogna disporre quattro serrafili in comunicazione ognuno con uno degli estremi dei due circuiti che si considerano.

Se invece di avere due macchine a disposizione se ne avessero tre ed in esse le armature fossero tutte calettate sul medesimo asse ma spostate, l' una rispetto altra, di 1[3 di giro si avrebbero tre correnti identiche spostate di fase l'una rispetto all'altra di un terzo di periodo ossia di 120°: si avrebbe, cioè, quello che chiamasi un SISTEMA TRIFASE.

Ripetendo quello che innanzi si è detto per il sistema bifase, si arriva alla costruzione di un ALTERNATORE TRIFASE avvolgendo sull' indotto tre circuiti spostati l' uno rispetto all'altro di 120° e facendoli terminare a sei anelli disposti sull'asse, l'uno isolato dall'altro, o a sei serrafili nel caso che l'alternatore sia a indotto fisso.

Disponendo più alternatori con i rispetti indotti tutti calettati sul medesimo asse, ma spostati opportunamente l'uno rispetto all' altro a seconda del loro numero si hanno i SISTEMI POLIFASI, di cui quelli BIFASI e TRIFASI sono casi particolari, e che presentemente sono gli unici che trovano pratica applicazione, e si arriva anche alla costruzione di alternatori POLIFASI di cui quelli BIFASI e TRIFASI sono i casi particolari adottati nella pratica degli impianti moderni.

Le correnti alternate ordinarie, per distinguersi da quelle polifasi si chiamano correnti MONOFASI, e gli alternatori che le producono ALTERNATORI MONOFASI per indicare che essi dànno una sola corrente alternata.

Le disposizioni, che noi abbiamo dato, riguardano il caso che i due o tre circuiti, che costituiscono gli alternatori bifasi o trifasi, siano del tutto indipendenti l'uno dall'altro, e ciò abbiamo fatto perchè si potesse più facilmente intendere il modo di generazione delle correnti polifasi ed il modo di stabilire gli avvolgimenti per ottenere appunto lo scopo della produzione delle correnti polifasi, però, in pratica, la indipendenza dei circuiti, specie nel-

l'alternatore trifase non si mantiene per nulla, ma invece si adotta una speciale connessione in modo da eliminare la complicazione delle sei spazzole, e quindi la spesa enorme di sei fili per la distribuzione della energia generata, mentre alcune volte per l'alternata bifase si mantiene la indipendenza dei circuiti.

Due sono le connessioni che possono eseguirsi degli avvolgimenti indotti negli alternatori polifasi di qualunque specie essi siano quando si esclude la indipendenza dei circuiti: CONNESSIONE a POLIGONO detta anche CONNESSIONE CHIUSA e CONNESSIONE a STELLA detta anche CONNESSIONE APERTA. Esaminiamo gli alternatori bifasi e trifasi nel modo di comportarsi rispettivamente a queste diverse specie di connessione.

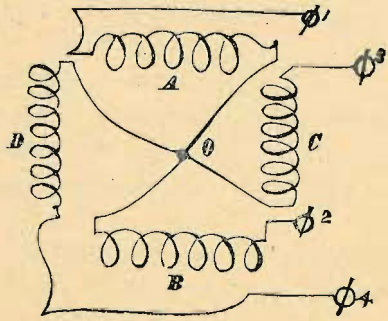


Figura 16.ª

1.° ALTERNATORE BIFASE. L'alternatore bifase, è l'unico nel quale, talvolta, si mantenga la indipendenza dei circuiti, in esso si hanno, in tale caso, bisogno di quattro fili di linea come, facilmente si rileva dalla figura n.° 16 in cui si hanno due sistemi di spire disposte normalmente e che, in un campo bipolare, debbono generare due correnti spostate di fase di un quarto di periodo. In questa figura bisogna però supporre che i due sistemi di spire

A-B e *C-D* non abbiano alcun contatto metallico in *O*. Uno dei circuiti termina ai punti 1 e 2 e l'altro a quelli 3 e 4. La differenza di potenziale istantanea fra i serrafili 1 e 2 è data dalla relazione.

$$e = 2E \, sen \, mt$$

e quella fra i serrafili 3 e 4 da

$$e_1 = sen \, (mt \pm 90^0) = 2E \cos mt$$

se si indica con E la massima differenza di potenziale agli estremi di ciascuna spirale A, B, C, D.

Agli estremi dei due circuiti si trova quindi il medesimo valore massimo nella differenza di potenziale, e per conseguenza anche il medesimo valore medio ed il medesimo valore efficace, quindi su di essi si debbono impiantare apparecchi di utilizzazione che richiedono la medesima differenza di potenziale.

La riunione dei circuiti a stella si ottiene unendo metallicamente nel punto *O* i diversi avvolgimenti. Con questa disposizione — e ciò si vede alla semplice ispezione della figura — si hanno non solamente i due circuiti indipendenti che consideravamo prima, ma tanti circuiti quante sono le combinazioni dei 4 serrafili due a due. Questi circuiti però si presentano con diverse differenze di potenziale, e quindi bisogna variare il tipo degli apparecchi di utilizzazione a seconda che essi si inseriscono in un circuito piuttosto che in un altro.

Fino a che consideriamo la differenza di potenziale agli estremi dei circuiti 1-2 o 3 4 subito ci accorgiamo che essa è identica a quella che si aveva quando i due circuiti erano indipendenti; ma se invece consideriamo il circulto che mette capo ai pnnti 1 e 3 o 1 e 4, o 2 e 3 o 2 e 4 si vede subito che non è più la stessa cosa.

Infatti la differenza di potenziale all'estremità del circuito 1 e 3 è la risultante delle differenze di potenziale esistenti nelle spirali A e C, le quali non sono coincidenti come direzioni; si deve quindi eseguire la composizione geometrica, cioè la medesima operazione che si esegue per la composizione delle forze quando esse non sono dirette nella medesima direzione, si deve cioè eseguire il parallelogramma sulle due componenti e la diagonale rappresenterà in grandezza e direzione e risultante (1).

La differenza di potenziale libera agli estremi 1-3 avrà, per tale ragione, il valore:

$$e_2 = 1{,}41\ E\ sen\ (mt \pm 45^0)$$

Ragionando identicamente si vede che il medesimo va-

---

(1) Se indichiamo con e la differenza di potenziale ai poli della spirale A essa potrà essere espressa da:

$$e = E\ sen\ mt$$

mentre quella ai poli della C sarà

$$e_1 = E\ sen\ (mt \pm 90^0) = E\ cos\ mt$$

Eseguendo la composizione geometrica (vedi *fig. 17*) si ottiene che la differenza di potenziale ai serrafili 1 e 3 è data dalla espressione

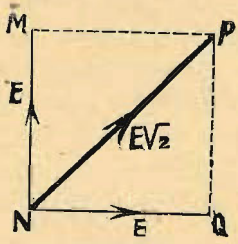


Figura 17.ª

$$e_2 = e + e_1 = NP\ sen\ (mt \pm 45^0) = E\sqrt{2}\ sen\ (mt \pm 45^0) =$$
$$= 1{,}41\ E\ sen\ (mt \pm 45^0)$$

lore per la differenza di potenziale risultante si trova fra i serrafili 2 e 3, fra 2 e 4 ed 1 e 4.

Ciò premesso, esistendo — come già innanzi abbiano accennato — il medesimo rapporto fra i valori istantanei, i massimi e gli efficaci, arriviamo alla conseguenza che l'alternatore bifase, mentre ha fra i serrafili 1-2 e quelli 3-4 una differenza di potenziale efficace di un determinato valore, fra quelli 1-3, quelli 1 e 4, e quelli 2-4 ha una differenza di potenziale efficace che è 1,41 volte più grande della precedente.

Praticamente se fra i primi serrafili si ha una differenza di potenziale efficace di 100 volt, fra i secondi se ne ha una di 141 volt.

Partendo da questa costatazione si può conchiudere che non solo si possono adoperare sui diversi circuiti apparecchi di utilizzazione che richiedano differente potenziale, ma anche una distribuzione per cui nei punti più vicini si utilizzino i circuiti a minor differenza di potenziale, e nei punti più lontani quelli a più elevata differenza di potenziale, per ottenere minor spesa nello impianto, come vedremo quando studieremo gli impianti elettrici.

Con la disposizione dell' alternatore bifase a stella si può, però, economizzare anche un conduttore nella distribuzione, riunendo due degli estremi di due circuiti, in

Figura 18ª

modo da ottenere per essi un filo di andata separato ed un filo di ritorno comune ed entrambi i circuiti presentano la medesima differenza di potenziale che avrebbero

avuta se non si fosse eseguita questa riunione dei due fili di ritorno, come può rilevarsi facilmente dalla fig. 18 in cui si è riportata solo la parte che veniva ad essere modificata della figura 16.

Finora non abbiamo fatto altro che studiare solo le disposizioni dei circuiti indotti con riunioni aperte, passiamo ora all'esame della disposizione con circuiti chiusi ossia della CONNESSIONE A POLIGONO.

Se dividiamo in quattro parti eguali l'avvolgimento chiuso di un anello Pacinotti, unendo i punti così ottenuti con quattro anelli conduttivi isolati dall'asse e fra di loro, abbiamo quattro circuiti, che, se ruotano in un

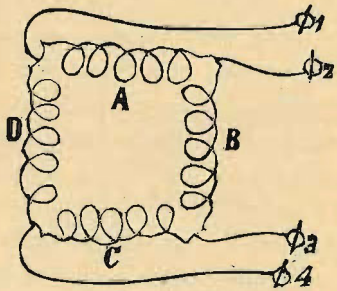


Figura 19.ª

campo bipolare, presentano differenze di potenziale spostate di fase di un quarto di periodo fra di loro. La disposizione schematica di questa connessione è rappresentata nella figura 19, dalla quale si vede come si possono avere tanti circuiti di utilizzazione per quante sono le combinazioni dei quattro fili due a due, e che si hanno due valori di differenze di potenziale a seconda della coppia che si presceglie.

Se si considerano due fili immediatamente successivi si vede che fra di essi la differenza di potenziale è indicata da

$$e = E \, sen \, mt$$

per il circuito fra 1-2;

$$e_1 = E\,sen\,(mt \pm 90^0)$$

per il circuito fra 2-3;

$$e_2 = E\,sen\,(mt \pm 180^0)$$

per quello fra 3-4; e finalmente

$$e_3 = E\,sen\,(mt \pm 270^0)$$

per quello fra 4-1.

Se invece si esaminano due fili che si succedono con lo intervallo di uno, per esempio i fili 1 e 3 si vede subito, ricordando quello che abbiamo detto per la connessione a stella, che fra di essi si ha una differenza di potenziale che deve essere la risultante geometrica delle due differenze elementari spostate di 90° fra di loro e si arriva, ripetendo parola per parola lo stesso ragionamento, al valore

$$e_4 = 1{,}41\,E\,sen\,(mt \pm 45^0)$$

Lo stesso risultato si otterrebbe fra gli altri due fili 2 e 4. Anche quì si possono quindi avere due distribuzioni di cui una ad un potenziale 1,41 volte più grande dell'altra: così se una è a 100 volt, l'altra sarà a 141 volt.

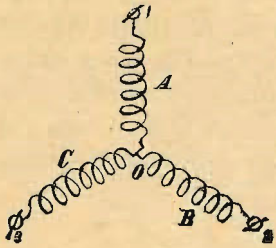
Non si può, però, con questa connessione, eliminare nella distribuzione uno dei fili di linea, perchè riunendo due fili consecutivi si verrebbe a chiudere una sezione in corto circuito, impedendo quindi il suo funzionamento e non raggiungendo lo scopo che si aveva in mente di conseguire.

In alcuni alternatori è possibile il passaggio dalla riunione a stella a quella a poligono per ottenere una

variazione di potenziale che può arrivare dal semplice al doppio: infatti con la riunione a stella noi abbiamo fra i due serrafili 1 e 2 o 2 e 4 una differenza di potenziale che è doppia di quella esistenza fra i serrafili 1 e 2 della riunione a poligono ed allora dato 100 come minima differenza di potenziale si possono avere i valori 100, 141 e 200 volt come potenziale di utilizzazione.

Vedremo però che tale disposizione più che negli alternatori trova la sua applicazione nei motori per ottenere una variazione di velocità entro limiti abbastanza sentiti.

2.° ALTERNATORI TRIFASI. — Negli alternatori trifasi, quantunque, teoricamente, e praticamente, sarebbe possibile la disposizione indipendente dei tre circuiti, pure in pratica non la si adopera per la spesa enorme di impianto avendosi bisogno, assolutamente, di sei fili per essa, mentre tanto con la distribuzione a poligono che con quella a stella si può ridurre la distribuzione a soli tre fili.



Figu a 20.ª

La disposizione a stella (fig. 20) ha i tre circuiti spostati l'uno rispetto all'altro di un terzo di periodo, e ciascuno di essi ha uno degli estremi in comune con gli altri, e l'altro estremo libero in unione con un anello del collettore.

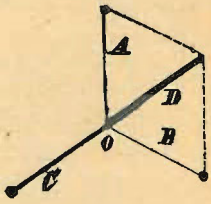


Figura 21.ª

Questa disposizione è resa possibile dal fatto che le correnti di due sezioni hanno per risultante la corrente che circola nella terza sezione come grandezza ma come direzione invertita, come può vedersi dalla fig. 21 in cui si ha che la risultante di *B*

ed A, ossia la diagonale del parallelogramma costruito su A e B, è la D che è eguale ed opposta alla C.

Premessa questa considerazione, se invertiamo il senso dell'avvolgimento C, il che vale lo stesso di disporre i circuiti a 60° fra di loro, la corrente che circola in ciascun conduttore ha lo stesso senso e la stessa fase della corrente risultante delle altre due sezioni, e quindi ciascun filo può essere adoperato come filo di ritorno delle altre due correnti, ed ottenersi con questo semplicissimo artifizio la economia di tre conduttori nella distribuzione.

Se consideriamo gli apparecchi di utilizzazione disposti fra due anelli consecutivi si vede anche quì che per ottenere la differenza di potenziale fra di essi deve farsi la composizione geometrica dei valori delle differenze di potenziale esistenti in ciascuno circuito, perchè esse sono spostate l'una rispetto all'altra di 120° e si arriva alla conclusione che la forza elettromotrice libera ai poli di esso è dato dalla espressione (1)

$$e = \sqrt{3}\, E\, (sen\ mt \pm 30^0) = 1{,}73\, E\, sen\ (mt \pm 30^0)$$

Con l'alternatore trifase si può, adottando la connessione a stella, ottenere anche una distribuzione a quattro

---

(1) Per la considerazione ora fatta, due circuiti consecutivi si trovano spostati l'uno rispetto all'altro di 60 . e quindi come rilevasi dalla fig. 22 si ha che il valore massimo della risultante è

$$2\, E \cos 30^0 = 2\, E \times \frac{\sqrt{3}}{2} = E\, \sqrt{3}$$

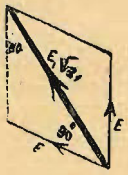


Figura 22.ª

e quindi il valore istantaneo sarà

$$\sqrt{3}\, E\, sen\ (mt \pm 30^0) = 1{,}73\ \sqrt{E}\, sen\ (mt \pm 30^0)$$

fili facendo partire dal punto di congiungimento dei tre diversi circuiti e che porta il nome di PUNTO NEUTRO, un filo da servire come filo di ritorno delle correnti dei tre circuiti separati, filo che non sarebbe percorso da corrente se i tre circuiti fossero egualmente caricati. Nel caso di distribuzione a quattro fili la differenza di potenziale ai poli dei tre circuiti presenta rispettivamente i seguenti valori:

$$e_1 = E \operatorname{sen} mt$$
$$e_2 = E \operatorname{sen} (mt \pm 120^0)$$
$$e_3 = E \operatorname{sen} (mt \pm 240^0)$$

La stessa disposizione, adoperando un filo neutro, si può ottenere nell'alternatore bifase con connessione a stella e distribuzione a quattro fili e vedremo, che questo filo, che porta il nome di FILO DI EQUILIBRIO serve appunto ad equilibrare la distribuzione quando i diversi circuiti di utilizzazione sono diversamente caricati, ed elimina in parte gli inconvenienti che si manifestano nelle distribuzioni polifasi che hanno fatto sì che esse non si estendono in quel modo, che, data la semplicità dell'impianto, e la economia sia in esso che nelle spese di esercizio, meriterebbero.

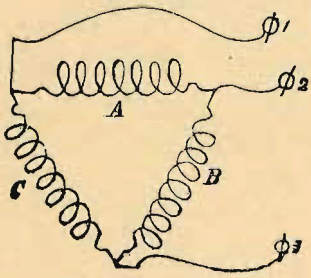


Figura 23.ª

Per la CONNESSIONE A POLIGONO, detta anche CONNESSIONE A TRIANGOLO (fig. 23.ª) dalla forma particolare che nello schema essa assume si debbono fare le identiche considerazioni fatte per il sistema bifase.

Anche questa connessione si può realizzare unendo, a tre anelli conduttivi calettati sull'asse, tre punti situati

a 120° l'uno dall'altro su di un avvolgimento continuo fatto su un anello Pacinotti.

Però nel caso presente non si possono disporre gli apparecchi di utilizzazione, che solo fra due fili consecutivi che presentano una differenza di potenziale corrispondente ad una sola sezione, come vedesi dalla fig 23.

Passando dalla connessione a stella a quella a poligono si può far variare il potenziale nel rapporto di 1,73 ad uno.

RIASSUNTO

Chiamasi sistema bifase la distribuzione fatta con due correnti alternate in quadratura, ossia spostate di fase di 90° l'una rispetto all'altra. — L'alternatore bifase è una macchina che genera due correnti in quadratura. — Chiamasi sistema trifase la distribuzione fatta con tre correnti alternate spostate di fase di 120° l'una dall'altra. — L'alternatore trifase è una macchina che genera tre correnti spostate di fase di 120°. — Nelle macchine polifasi i circuiti indotti possono o restare indipendenti l'uno dall'altro e ciò si fa solo nell'alternatore bifase o riunirsi con due speciali connessioni l'una detta a poligono o chiusa e l'altra a stella o aperta. — Nell'alternatore bifase con connessione a stella o a poligono si possono mettere apparecchi di utilizzazione tanto fra due fili consecutivi, quanto fra due qualsiasi dei fili comunque accoppiati. — Nella connessione a stella i due circuiti possono avere un unico ritorno, economizzandosi così un filo nella

distribuzione. — Nell' alternatore trifase si possono mettere gli apparecchi di utilizzazione o fra due fili consecutivi, o fra un filo ed il punto neutro nel caso di distribuzione a stella.

CAPITOLO IV.

Diverse forme di induttori

La forma degli induttori varia non soltanto in dipendenza dei sistemi costruttori adottati dalle varie case elettriche, ma è soggetta direttamente al tipo di alternatore a cui esso deve essere destinato, non potendosi avere la medesima forma per alternatori con induttori fissi, mobili o a ferro rotante.

Cominciamo lo studio degli induttori partendo dal caso che più si avvicina a quello delle dinamo, ossia dal caso che sia mobile il circuito indotto.

Ora che abbiamo spiegato completamente il modo di funzionamento degli alternatori non ci limiteremo più alla considerazione dei circuiti bipolari, ma considereremo solo quelli multipolari che sono gli unici che trovano la loro applicazione nell' industria.

Negli alternatori con induttore fisso, questo si trova sempre disposto all'esterno ed è costituito o da un unica serie di poli alternati o da due serie, pure alternate, ma affacciate l'una all'altra in modo da far corrispondere di rincontro due poli eteronimi: in alcuni tipi, però, si trovano affacciati poli omonimi, avendosi in tal modo un circuito magnetico doppio. Le ultime disposizioni si riscontrano solo nel caso che il circuito indotto sia rappresentato da un disco o da un anello piatto, ritrovandosi quì il medesimo aggiustamento che si aveva nelle dinamo Desroziers.

Gli alternatori a circuito induttore fisso, quando l'armatura è ad anello ordinario o a tamburo, hanno i nuclei inducenti che possono assumere una qualsiasi delle forme che abbiamo riscontrate nelle dinamo multipolari: essi si presentano solo—come del resto si trova in tutti gli alternatori — non più pieni ma laminati come l'armatura, per eliminare la influenza delle correnti di Foucault che verrebbero indotte per lo elevato potenziale dell'alternatore e per l' alta frequenza delle correnti da esso generate.

È inutile dire che quì, come nelle dinamo, gli avvolgimenti da fare sui nuclei debbono essere disposti in modo che i poli successivi risultino di nome contrario per aversi, nel movimento del circuito indotto, la generazione della corrente.

Negli alternatori, invece, in cui il circuito induttore è mobile, sono invertite le posizioni relative ed è questo che si trova nell' interno, laddove il circuito indotto si trova all' esterno.

La disposizione che più ordinariamente si trova adottata in questo sistema è quella rappresentata da cilindri o prismi montati sull' asse nelle direzioni dei raggi di una ruota. Anche in questo caso si deve avere la disposizione con poli alternati, e gli estremi dell'avvolgimento debbono essere saldati a due anelli metallici calettati sull' asse ed isolati da questo e fra di loro. Sugli anelli poggiano due spazzole che servono a portare nelle eliche magnetizzanti la corrente di eccitazione.

Vi sono delle disposizioni speciali di induttori che si adoperano specialmente nel caso di armature piatte, oltre a quella già indicata degli elettromagneti affacciati (alternatore Siemens) identiche a quelle adottate per le dinamo con armatura del medesimo tipo, per ottenere in modo simile la generazione di un campo magnetico intenso.

Così nell'alternatore Mordey vi è una sola spirale inducente avvolta su un cilindro di ferro che si ripiega in fuori in modo da assumere l'aspetto di due campane che vengono ad affacciarsi per i bordi che non sono continui, ma hanno dei vuoti alternati a dei pieni quasi come due ruote dentate l'una di rincontro all'altra. Con questa disposizione, che non fa cambiare mai la direzione al campo inducente, la corrente indotta si genera perchè l'armatura presenta un numero di sezioni indotte doppio dei denti del circuito induttore, di modo che mentre una sezione si trova fra due denti, la sezione vicina si trova fra due vuoti: la prima è attraversata dal flusso massimo, la seconda dal flusso zero, e con la rotazione del circuito inducente ciascuna spira passando dall'una posizione all'altra è soggetta ad una variazione di flusso che determina la generazione della corrente indotta.

Questo alternatore può considerarsi come il tipo di passaggio degli alternatori ordinari a quelli a ferro rotante: in questi la induzione nei circuiti dell'armatura si ottiene con la medesima genesi ma la corrente magnetizzante circola in spirali fisse e la campana dentata mobile è una sola che fa variare dal massimo allo zero la intensità del campo magnetico non per lo spostamento di poli magnetici ma per la variazione della permeabilità dovuta al succedersi dei vuoti ai denti.

Anche nella disposizione dei circuiti inducenti degli alternatori bisogna fare in modo da evitare, il più che è possibile, le fughe magnetiche, le quali, in essi, assumono valore più eccessivo, perchè oltre a quelle che si determinano in essi, si hanno quelle che si manifestano nell'armatura, per le linee di forza, che, tagliando questa, si chiudono su sè stesse senza impegnare i circuiti indotti.

RIASSUNTO

Negli alternatori ad induttore fisso, questo si trova all'esterno e può presentare una qualsiasi delle forme che ha nelle dinamo ordinarie. — I nuclei degli induttori sono sempre laminati. — Negli alternatori ad induttore mobile, i nuclei inducenti si trovano all' interno ed assumono la forma dei raggi di una ruota. — Induttori di forma speciale. — Negli alternatori a ferro rotante le spirali induttrici sono fisse e disposte in modo che il flusso da esse generato si chiuda attraverso le spirali indotte, anche esse fisse. — Fughe magnetiche.

CAPITOLO V.

Diversi tipi di armatura

Anche in questo capitolo studieremo a parte i tipi di armatura in dipendenza del tipo di alternatore, ed indipendentemente dal tipo parleremo prima delle armature per ALTERNATORI MONOFASI, e poi di quelle per ALTERNATORI POLIFASI.

Nel caso di ALTERNATORI MONOFASI CON ARMATURA MOBILE si possono avere tutti i tipi di indotti che abbiamo esaminati parlando delle dinamo; la sola distinzione si trova nella inversione delle spire quando trattasi di armature a circuito aperto, per ottenere corrente nel circuito esterno, e nella assenza del collettore-commutatore sostituito da due anelli metallici calettati sull' asse ed isolati da esso e fra di loro.

Si hanno quindi alternatori con ARMATURA AD ANELLO, a TAMBURO, a DISCO e ad ARMATURA POLARE.

Negli alternatori invece in cui l'armatura è fissa e trovasi, per conseguenza, all'esterno, essa assume la forma di un anello sul quale sono fatti gli avvolgimenti, i quali talvolta sono anche eseguiti su espansioni che si determinano nella periferia interna dell'anello, o di un cilindro vuoto, secondo la direzione radiale.

Negli alternatori a FERRO ROTANTE le spirali possono essere avvolte in un modo qualsiasi, purchè attraverso di esse, col muoversi della campana dentata, si determini la variazione del flusso.

I nuclei delle armature, di qualunque tipo sono, debbono essere suddivisi normalmente alla direzione delle correnti indotte, per impedire la produzione di correnti di Foucault, che abbassano enormemente il rendimento della macchina nella quale si determinano, dato il valore elevato della frequenza. Per ottenere poi una perdita per isteresi di valore anche essa poco rilevante si sceglie una induzione specifica non troppo elevata (intorno a 7000 unità C. G. S.).

I fili del circuito indotto possono essere disposti sia sulla periferia che entro incavi a coda di rondine determinati su di essa, od anche dentro fori: però è da preferirsi la prima disposizione perchè con le altre due si aumentano le fughe magnetiche nell'indotto.

Infatti le linee di forza seguono a preferenza quelle parti che presentano minore resistenza magnetica, e quindi quando trovano sul loro percorso degli spazi in cui vi sono conduttori di rame, ed altri nei quali vi è ferro, attraversano in preferenza questo che è meno resistente, non impegnando per nulla i conduttori, e quindi dando attraverso di essi un valore del flusso inferiore a quello che si avrebbe nel caso che tutta l'ar-

matura fosse coperta di filo di rame e quindi presentasse in tutti i punti una eguale resistenza magnetica.

L' isolamento dei fili dell'armatura, trattandosi di macchine ad elevato potenziale, deve essere meglio curato di quello delle dinamo, e debbonsi, per tale ragione, adoperare isolanti perfetti per poter essere sicuri che durante il funzionamento non si determini qualche corto circuito, che è tanto più letale quanto più elevata è la differenza di potenziale che vien generata dalla macchina. Ordinariamente si adopera come isolante, fra una spira e la successiva e fra le spire ed il nucleo dell' indotto, la micanite.

Si preferisce, nelle armature esterne, di fare gli avvolgimenti su espansioni radiali sporgenti dall' anello che costituisce il nucleo, perchè, in tal modo, viene molto facilitata la montatura delle diverse sezioni e la sostituzione di esse con altre già preparate quando se ne presenta la necessità.

Le armature per alternatori polifasi hanno bisogno di speciali cure nell' avvolgimento, dovendosi avere tanti circuiti separati quante sono le fasi della corrente che si vuole utilizzare, a meno che non si consideri la connessione a poligono nella quale vi è una perfetta continuità nell' avvolgimento.

Per ottenere la perfetta disposizione dell'avvolgimento, bisogna dividere la distanza polare in tante parti quante sono le fasi della corrente che si considera e su ciascuna di queste parti avvolgere le sezioni corrispondenti ad una determinata fase, stando bene accorti nelle connessioni di non unire una sezione di una determinata fase con una di fase diversa, e curando di invertire alternativamente le giunzioni nel passare da una sezione alla successiva nel caso di avvolgimenti aperti, potendosi,

solo in questo modo, ottenere la utilizzazione della corrente nel circuito esterno come or ora si è detto.

Come forma di armatura si possono avere tutte quelle che abbiamo esaminate per gli alternatori manofasi, e lo stesso dicasi per la mobilità relativa dei circuiti: si preferisce però, come d'altra parte si pratica anche nei tipi monofasi, la disposizione con circuito indotto fisso.

Gli alternatori a FERRO ROTANTE, che possono essere tanto monofasi che polifasi, quantunque teoricamente rappresentino il maximum della perfezione, perchè hanno immobili tutti i circulti che sono attraversati dalla corrente, in pratica non sono adoperati che raramente per il rendimento non molto elevato, e per la forma della curva della forza elettromotrice da essi generata, che si distacca di molto da quella teorica delle sinusoide.

Anzi, a questo riguardo, è buono ricordare che la forma sinusoidale della forza elettromotrice, generata in una spira, che ruota in un campo magnetico uniforme, si è ottenuta supponendo il mezzo, attraverso cui si muove la spira, di permeabilità costante: quando invece essa varia col variare della intensità del campo, varia pure la forma della corrente, che si allontana tanto più da quella della sinusoide per quanto maggiori sono le variazioni della permeabilità del mezzo.

Per ottenere alternatori che presentino una forza elettromotrice perfettamente sinusoidale si arriva, per tale ragione, alla costruzione di armature senza ferro, per avere appunto un mezzo come l'aria che presenti costante la permeabilità. Su questo principio sono basati gli alternatori Siemens in cui l'armatura di forma piatta si muove fra due serie di poli molto avvicinati per avere un campo d'intensità abbastanza forte attraverso di essa malgrado la mancanza di ferro: si ha quindi una dis-

posizione analoga a quella riscontrata nelle dinamo Desroziers.

Anche però gli alternatori di questo tipo non hanno trovato grande applicazione, da una parte per le grandi perdite di flusso che si determinano fra i poli eteronimi disposti sul medesimo disco e dall'altra per la diminuita permeabilità dell'armatura, quantunque a favore di essi vi sieno due cause, la diminuita reazione dell'armatura e la forma perfettamente sinusoidale della forza elettromotrice quando però nel circuito esterno non vi sono apparecchi induttivi.

RIASSUNTO

Gli alternatori monofasi con armatura mobile possono presentar questa sia a tamburo, sia ad anello, sia a disco, che polare. — Quelli con armatura fissa la hanno a forma di anello. — Le armature a ferro rotante possono avere un aspetto qualsiasi purchè col girare del ferro si ottenga attraverso di esse una variazione di flusso. — I nuclei dell'armatura debbono essere laminati per impedire la formazione di correnti di Foucault. — I fili indotti possono disporsi sulla periferia, o in incavi, o nello stesso modo che quelli analoghi delle dinamo. — L'isolamento dei fili indotti deve essere accuratamente ottenuto per l'elevata differenza di potenziale a cui sono assoggettati. — Gli alternatori polifasi debbono avere i diversi circuiti distanziati di una frazione di passo polare eguale alla inversa del numero delle correnti che generano. — La forma degli

indotti polifasi può essere una qualunque di quelle degli indotti manofasi. — Gli alternatori a ferro rotante possono essere mono e polifasi, però essi tanto nell'uno che nell'altro caso dànno correnti che si discostano molto dalla forma sinusoidale. — Gli alternatori con armatura piatta quando nel circuito esterno non vi siano apparecchi induttivi, e l'armatura sia senza ferro, dànno una corrente perfettamente sinusoidale.

CAPITOLO VI.

Funzionamento degli alternatori

Il funzionamento degli alternatori è molto più complesso di quello delle dinamo per gli effetti che provoca la corrente alternata nei circuiti dotati di autoinduzione e di capacità e per gli spostamenti di fase che ne derivano fra la forza elettromotrice e la intensità, e che determinano una variazione nella potenza che la macchina può fornire.

Negli alternatori ad eccitazione indipendente, questa si mantiene costante per tutto il tempo del funzionamento, e nei suoi riguardi si ha l' identico fenomeno che si aveva nelle dinamo eccitate indipendentemente.

Quando il circuito esterno è aperto, e l'alternatore funziona a vuoto, cioè non fornisce corrente, la differenza di potenziale, libera ai poli, è la massima possibile. A misura che si chiude l'alternatore su una resistenza, che va man mano diminuendo, in modo che va man mano aumentando la intensità erogata dall' indotto, la differenza di potenziale va gradatamente diminuendo, ma in modo molto più rapido di quello che avviene per le dinamo ad

eccitazione indipendente, perchè negli alternatori la reazione dell' armatura arriva a valori molto più rilevanti.

Anzi, per eliminare questo inconveniente, è stato tentato di aumentare l' interferro per ridurre la reazione a valori meno sentiti, ma si è andato incontro ad una diminuzione di rendimento dovuto all'aumentata resistenza del circuito magnetico, come — in proporzioni più forti — si ottiene con le armature sprovviste addiritura di nucleo di ferro.

La reazione dell'armatura, negli alternatori, è talmente forte, che, per una corrente non molto superiore alla normale, la differenza di potenziale precipita in vicinanza dello zero. Ciò spiega il perchè della relativa innocuità dei corti circuiti nella rete di distribuzione nei riguardi degli alternatori, perchè, nell' istante successivo alla loro determinazione, la differenza di potenziale ai poli degli alternatori rasenta lo zero e non possono, quindi, avvenire quei disastri, che, nelle dinamo a corrente continua, si riscontrano.

Allorchè l' alternatore fornisce corrente, anche se nel circuito esterno non vi siano apparecchi induttivi, si riscontra sempre una piccola differenza di fase fra la intensità e la differenza di potenziale ai poli, dovuta alla autoinduzione del circuito dell'armatura. Questa differenza di fase aumenta col crescere della intensità erogata, perchè la induttanza aumenta con èssa, ed aumenta col crescere della induttanza del circuito esterno.

Però, considerando, che, mentre l'autoinduzione provoca un ritardo di fase fra intensità e differenza di potenziale, la capacità provoca invece un anticipo, nel calcolo di questo spostamento bisogna tener conto di entrambi i fattori, e se si arrivasse a costruire condensatori industriali che potessero resistere bene agli elevati potenziali e dissipassero una quantità minima di energia, si po-

trebbe , opportunamente calcolando la capacità di essi, distruggere completamente l' effetto dell' autoinduzione, riportando la potenza al valore reale del prodotto della intensità per la differenza di potenziale, eliminando del tutto il FATTORE DI POTENZA, che riduce sensibilmente la energia disponibile.

Per gli alternatori polifasi si complica di più la faccenda, perchè non solo bisogna tener conto degli spostamenti di fase che si determinano per i carichi induttivi inseriti nei diversi circuiti, ma anche della influenza esercitata, in un determinato circuito, dalle variazioni di carico che avvengono negli altri circuiti.

Fino a che, tanto negli alternatori bifasi che in quelli trifasi, i diversi circuiti sono egualmenti caricati , ossia forniscono eguale intesità di corrente, si riscontra la medesima differenza di potenziale ai serrafili di essi, ed il funzionamento avviene identicamente a quello degli alternatori monofasi , qualunque sia il sistema di connessione adoperato. Ma quando anche uno solo dei circuiti eroga più o meno corrente degli altri, allora si disquilibria tutta la distribuzione e si alterano sensibilmente le differenze di potenziale ai poli di tutti i circuiti.

Questa influenza della variazione di carico di un solo circuito sul funzionamento degli altri sembra giustificata, a prima vista, in tutte le connessioni tranne che in quella con circuiti indipenti. Ma, quando si considera che il variare delle intensità in un circuito non solo fa variare la reazione dell'armatura, che è comune a tutti i circuiti, ma provoca anche una magnetizzazione dissimmetrica di essa, si comprende, facilmente, come il disquilibrio è giuocoforza che si propaghi a tutta la distribuzione , che risente della dissimmetria della magnatizzazione e , quindi, del flusso.

Questo disquilibrio è esizialissimo specialmente negli

impianti per illuminazione privata, in cui l' accensione di alcune lampade, su un circuito, determina subito un elevamento di potenziale in alcuni circuiti e l' abbassamento in altri, sforzando il regime di alcune lampade e forse anche bruciandole e lasciando quasi spente le altre.

Tutte le cure degli elettrotecnici si sono versate, per tale ragione, ad eliminare questo inconveniente, che tarpa le ali alle distribuzioni con correnti polifasi, e diversi tentativi si sono fatti al riguardo quali più quali meno riusciti. Noi tratteremo di essi negli impianti, perchè si collegano appunto a disposizioni speciali di circuiti o di apparecchi ausiliari, ed accenneremo, quì, soltanto ad una disposizione che è legata intimamente alla costruzione degli alternatori, disposizione alla quale abbiamo già accennato parlando degli alternatori polifasi.

Essa consiste nel far partire dal PUNTO NEUTRO della connessione a stella sia dell'alternatore bifase, che di quello trifase, un altro filo che serve come filo di ritorno delle correnti delle diverse sezioni, e gli apparecchi di utilizzazione si inseriscono fra questo filo e uno qualsiasi degli altri circuiti. Però questo sistema non elimina completamente l' inconveniente, come non lo eliminano del tutto le altre disposizioni e gli altri ripieghi che si sono andati escogitando per ottenere un regolare funzionamento delle distribuzioni polifasi.

Negli alternatori, con avvolgimento composto, in cui si provvede alla eccitazione con una porzione della corrente generata dalla macchina che si considera, la differenza di potenziale, ai poli del circuito esterno, si mantiene sensibilmente costante col variare della corrente richiesta, ripetendosi il medesimo fenomeno della autoregolazione che si verifica nella dinamo ad eccitazione composta.

RIASSUNTO

Negli alternatori ad eccitazione indipendente si ha la massima differenza di potenziale a circuito esterno aperto, ed a misura che aumenta l'erogazione della corrente diminuisce la differenza di potenziale, che cade presso allo zero per intensità di poco superiore alla normale, per effetto della forte reazione dell' armatura. — Fra la intensità e la forza elettromotrice vi è una differenza di fase che dipende dall' induttanza del circuito dell' armatura e di quello esterno ed aumenta con questa e con l'aumentare della intensità che si richiede. — La capacità, provocando uno spostamento di fase inversa alla induttanza, attenua gli effetti di questa. — Negli alternatori polifasi una richiesta di corrente in una fase, superiore a quella delle altre , squilibria tutta la distribuzione.—Adozione del filo di equilibrio per attenuare tale inconveniente. — Gli alternatori ad eccitazione composta mantengono la differenza di potenziale sensibilmente costante col variare della intensità della corrente erogata.

Capitolo VII.

Regolazione degli alternatori.

Per la regolazione degli alternatori può ripetersi tutto quello che si è detto per la regolazione delle dinamo. L' unico sistema di regolazione, però, che deve assoluta-

mente scartarsi è quello riguardante la modificazione di velocità sia effettiva, riducendo il numero dei giri che fa la motrice, che relativa variando il numero dei poli, perchè con questo sistema cambia la frequenza della corrente fornita; e noi vedremo negli impianti, che, per ottenere un regolare funzionamento degli apparecchi di utilizzazione, l'alternatore deve fornire la corrente con la frequenza per la quale è stato calcolato ed essa non deve subire forti variazioni.

La regolazione degli alternatori si può fare in modo perfettamente diverso quando si tratta di alternatori nei quali si provvede alla eccitazione mediante la corrente fornita dalla macchina stessa.

Un primo sistema, dovuto al *Ganz*, è quello di mettere nel circuito di utilizzazione un circuito di piccola resistenza ma fortemente induttivo, munito di nucleo di ferro, su cui è avvolto un circuito secondario in serie con la corrente che deve servire per la eccitazione prima ancora del suo raddrizzamento. Quando nel circuito esterno si richiede una corrente più intensa, per cui la differenza di potenziale ai poli dell'alternatore tende a diminuire, questa corrente più forte, passando nella spirale induttiva, induce nella spirale secondaria una corrente che si addiziona a quella che deve trasformarsi in continua e produce un aumento nella intensità di eccitazione che riporta il potenziale ai poli dell'alternatore al valore voluto. L'inverso avviene quando si ha un elevamento di potenziale.

La *General Electric* ha realizzato una eccitazione composta combinando la autoeccitazione con la eccitazione indipendente ottenuta mediante una generatrice a corrente continua. Questa fornisce una eccitazione tale da produrre la differenza di potenziale normale a circuito esterno aperto, mentre la eccitazione in serie dà una corrente proporzionale a quella del circuito esterno ripor-

tando il potenziale al valore normale quando si abbassa per eccessiva richiesta di corrente, perchè viene proporzionalmente aumentata la intensità della eccitazione.

Però il commutatore raddrizzatore non conviene che per macchine di piccola potenza, perchè esso, oltre al determinare dei flussi leggermente pulsanti, provoca uno spostamento della posizione di commutazione ad ogni variazione di regime, producendo, da una parte, un indebolimento del campo induttore, e, dall'altra, uno scintillio nocivo sotto le spazzole, che debbono quindi essere regolate ogni volta, per provvedere alla commutazione in buone condizioni.

La casa Thompson-Houston, che ha fatte alcune applicazioni di questo sistema, ha inserito, fra le diverse sbarre del commutatore, opportune resistenze per rendere minimo l'inconveniente, che ora abbiamo lamentato, non riuscendo però del tutto ad eliminarlo.

Migliori risultati si ottengono sostituendo al commutatore-raddrizzatore, un vero collettore, ossia adottando, per le spirali induttrici e per il commutatore corrispondente, un forte sezionamento secondo le idee di Heyland e di Latour, i quali, per ottenere la regolazione composta, aggiungono un TRASFORMATORE DI COMPENSAZIONE che non è altro che un trasformatore ordinario nel quale la spirale secondaria invece di essere indipendente dalla primaria ha un estremo comune con essa.

La regolazione con questo sistema è fatta in questo modo: la corrente dell'armatura va nel primario del trasformatore di compensazione e nel secondario e da questo direttamente o, per l'intermediario di un trasformatore, che ne abbassi il potenziale, va, attraversando il collettore, nella eccitazione.

Quando aumenta la intensità, richiesta dal circuito esterno e si abbassa il potenziale, aumenta la intensità

che circola nel primario del trasformatore ed aumenta anche quella che attraversa il secondario, sia direttamente che per l'aumentata induzione esercitata su di esso dalla corrente che circola nel primario, e, quindi, aumenta, di conseguenza, la corrente che va nella eccitazione, e si riporta il potenziale dell' alternatore al valore normale.

Teoricamente l'autoeccitazione composta, ottenuta con questo sistema, rappresenta una soluzione perfetta del problema e si può applicare, in modo semplicissimo, anche agli alternatori polifasi, industrialmente, però, tutta questa semplicità sparisce, dovendosi costruire un vero indotto di dinamo a corrente continua.

Si può ottenere, teoricamente, una buona regolazione ricorrendo ad una autoeccitazione composta adoperando condesatori, e diciamo teoricamente perchè al giorno di oggi manca ancora un tipo di condensatore veramente industriale.

Questo sistema è dovuto ai signori Leblanc e Boucherot ed è basato sulla proprietà che hanno i condensatori di dare alla intensità uno spostamento in avanzo di un quarto di periodo sulla forza elettromotrice, e quando si considera che questa è in ritardo di un quarto di periodo rispetto al flusso, si conchiude che con l'adozione dei condensatori si ha la intensità in concordanza col flusso ed allora essa può benissimo essere impiegata per produrlo.

Finalmente, per chiudere questa rassegna, è d'uopo dare qualche indicazione relativa all'alternatore con eccitazione composta compensata dovuta al signor Boucherot.

Il particolare di questo sistema consiste nella eccitatrice il cui circuito indotto è munito di un avvolgimento detto SUNUSOIDALE, perchè ciascuna sezione, compresa fra due sbarre successive del collettore, è composta di due spirali riunite in serie fra loro ma spostate di mezzo passo polare, ed il numero delle spire della prima di que-

ste spirali varia secondo la funzione del seno dell'angolo determinante la sua posizione sul tamburo, mentre che il numero delle spire dell'altra spirale è funzione del coseno dello stesso angolo, per cui si ha una generazione di una forza elettromotrice costante quando si eccita il circuito induttore con un CAMPO ROTANTE, ossia con un campo di intensità costante ma di direzione continuamente variata nel piano.

Con questo sistema, regolando opportunamente il trasformatore di compensazione, prima di mettere in funzionamento il macchinario, si può ottenere una regolazione esattissima dell'alternatore, anche che esso presenti una forte reazione di indotto, permettendosi quindi una migliore utilizzazione del materiale impiegato.

RIASSUNTO

Per la regolazione degli alternatori può ripetersi quanto si è detto per le dinamo, tranne la impossibilità di ottenerla variando la velocità, sia effettiva che relativa, perchè in tal modo si avrebbe una variazione della frequenza che deve rimanere costante. — Vari sistemi di regolazione composta. — Regolazione Ganz. — Regolazione della General Electric. — Regolazione Tompson, Heyland e Latour. — Regolazione con condensatori sistema Leblanc e Boucherot. — Regolazione con avvolgimento sinusoidale sistema Boucherot.

CAPITOLO VII.

Difetti — Riparazioni — Collaudo Rendimento — Accoppiamento

L'alternatore — come risulta da tutto quello che finora abbiamo detto — non è altro che una dinamo a cui manca il raddrizzatore della corrente, e che, quindi, conserva questa sotto la forma alternata con cui è generata nell' indotto.

Da questa semplicissima constatazione risulta evidente che tutti i difetti, che si riscontrano nelle dinamo, possono ritrovarsi negli alternatori, e che il modo di ricercarli e di correggerli è identico a quello a cui abbiamo già accennato. Tornerebbe, quindi, ozioso ripetere, qui, parola per parola, quello che già è stato detto.

Facciamo solo notare che per gli alternatori ad eccitazione indipendente non può parlarsi più di mancanza di magnetismo residuo, e per nessuno può riscontrarsi lo scintillio alle spazzole stante la mancanza di collettore con sbarre conduttive intramezzate da sbarre isolanti, e quindi non avendosi più nè spire chiuse in corto circuito, nè possibilità di contatti fra sbarre successive, può solo riscontrarsi un leggero scientillio per cattivo contatto fra spazzola e relativo anello o per cattiva tornitura della superficie dell'anello stesso.

Lo scintillio alle spazzole può riscontrarsi solo negli alternatori ad autoeccitazione dalla parte del commutatore che o è proprio un collettore, o è qualche cosa di simile presentando solo un numero minore di sbarre. Lo scintillio, però, che qui si manifesta, dipende — specialmente nel secondo caso — il più delle volte da forte erogazione di corrente che sposta il diametro di commuta-

tazione e lo si elimina spostando le spazzole nella direzione del movimento.

Gran cura bisogna porre negli alternatori all' isolamento specialmente delle spirali indotte, massime quando, trattandosi di alternatori polifasi, si hanno accavallamenti di spire attraversate da correnti di fase diversa. Si adopera con gran successo come isolante la MICANITE.

Fra le cause di oscillazione di corrente, che producono una oscillazione ritmica nella luce, ne va aggiunta una altra, trattandosi degli alternatori, dipendente da un corto circuito in una delle spirali induttrici, in modo da lasciare diseccitato uno dei poli dell'alternatore. In questo caso, al passaggio di questo polo innanzi alle spirali indotte, non si ha generazione di corrente, e si ottiene, quindi, la variazione periodica a cui or ora abbiamo accennato.

Quando si riscontra questo difetto bisogna misurare le resistenze dei circuiti dei diversi poli, e, determinata quella che presenta una minore resistenza, dovuta appunto al corto circuito, sostituirla con un' altra già bella e preparata nel caso che il difetto di isolamento non sia riparabile, o rimetterla in condizioni di buon funzionamento se ciò è possibile.

Per quanto riguarda montatura, collaudo e determinazione di rendimento neppure abbiamo gran cosa da aggiungere a quello che abbiamo detto parlando delle dinamo: solo è utile, quì, notare che bisogna aver tanto maggior cura nel determinare l' isolamento dei circuiti fra di loro e dalla carcassa dell' alternatore quanto più elevata è la differenza di potenziale che l'alternatore fornisce. Ed è opportuno ricordare le istruzioni date parlando dell' impianto delle dinamo, che cioè se la carcassa non è stata isolata dal suolo non bisogna isolare il piano di manovra che circonda l'alternatore, ma se invece la car-

cassa è isolata dal suolo deve essere circondata da un piano di manovra isolato dal suolo e tanto esteso per cui non si possa toccare la macchina mentre si è in contatto col suolo.

La ragione di questa disposizione è semplicissima : le correnti elettriche per tanto influiscono sul nostro organismo per quanto possono attraversarlo per una differenza di potenziale che si determina attraverso il corpo : quando questa differenza non si manifesta esse non hanno libero il passo e non possono, anche se ad altissimo potenziale, arrecare danni all' organismo.

Finchè la carcassa non è isolata dal suolo, forma con esso un unico conduttore che assume il potenziale della terra; quindi qualunque conduttore viene in contatto con la carcassa è messo in contatto col suolo, e, disperdendo attravverso di esso la corrente della macchina, deteriora i circuiti di questa, specie se il contatto non è con un solo conduttore, ma non può arrecare alcun danno a chi viene in contatto con la carcassa, purchè si trovi in comunicazione col suolo, perchè, trovandosi egli al medesimo potenziale del suolo e della carcassa, non è attraversato da alcuna corrente.

Nel caso invece che la carcassa è isolata dal suolo, allora essa non forma più un conduttore unico con la terra, e quando un conduttore della macchina viene in contatto con essa, questa assume il potenziale del conduttore. Un individuo, allora, che si trovi in contatto col suolo è attraversato da una corrente dipendente dalla resistenza che il suo corpo offre e dalla differenza di potenziale eguale in valore assoluto al potenziale del conduttore, essendo zero il potenziale del suolo, e quindi da una corrente tanto più intensa, quanto più elevato è il potenziale del conduttore con cui la carcassa è venuta in contatto, e risente tutti gli effetti disastrosi che le correnti ad alto potenziale esercitano sull'organismo umano, come vedremo trattando

degli effetti fisiologici della corrente e del modo di preservarsi dall' azione deleteria di essa.

Se, invece, intorno all' alternatore isolato del suolo, esiste un piano di manovra isolato anche esso dal suolo, l' individuo, che viene in contatto con la carcassa, forma un conduttore unico con questa ed assume il suo potenziale, nè può permettere il passaggio della corrente attraverso il corpo perchè perfettamente isolato da ogni altro conduttore: avviene, quì, lo stesso fenomeno che si riscontra per gli uccelli che si poggiano spensieratamente sulle conduttore ad elevatissimo potenziale senza subirne alcun danno fino a che si trovano in contatto con un sol conduttore, ma cadono, istantaneamente, fulminati quando, sbattendo le ali, queste vengono in contatto con un altro conduttore e permettono, in tal modo, il passaggio della corrente attraverso l'organismo.

Ciò premesso , si comprende come è da preferirsi la prima disposizione alla seconda , perchè con questa un difetto di isolamento nel piano di manovra può determinare una disgrazia.

L' accoppiamento degli alternatori non può eseguirsi che in un modo solo, in parallelo, risultando impossibile l'accompiamento in serie, perchè, per la differenza di fase, che esiste fra la intensità risultante e la forza elettromotrice , le forze elettromotrici dei due alternatori tendono a mettersi in opposizione, e a non dar più alcuna corrente.

Da questa stessa osservazione risulta che la riunione in parallelo è facilissima, perchè per essa si ha bisogno che i due alternatori si trovino in opposizione, perchè solo così è possibile che le due correnti di senso contrario si sommino nel circuito esterno.

L'unica cosa, a cui bisogna badare in questo accoppiamento, è che non solo i due alternatori presentino la me-

desima differenza di potenziale e facciano il medesimo numero di giri, ma che, nel momento della chiusura del circuito del secondo alternatore, le due correnti si trovino in concordanza di fase.

Per accertarsi di ciò si mettono in derivazione, fra i fili omonimi dei due alternatori, due lampade elettriche calcolate per il voltaggio normale: esse, quando le due correnti sono dirette nel medesimo senso, restano spente, quando invece sono dirette in senso inverso si accendono. Lo spegnimento delle lampade, quindi, corrisponde alla concordanza di fase.

Ciò premesso, si mette in moto il secondo alternatore dopo di aver inviata la corrente eccitatrice nel circuito induttore e si aumenta gradatamente la velocità. Sul principio gli accendimenti e gli spegnimenti saranno rapidissimi, perchè gli spegnimenti corrispondono alle interferenze che si determinano nei due movimenti periodici di diverso periodo. A misura che aumenta la velocità e il secondo alternatore si avvicina al sincronismo col primo, comincia ad aumentare il tempo in cui le lampade restano spente, riducendosi quello delle accensioni. Quando lo spegnimento si prolunga per qualche istante, in quel momento si chiude il secondo alternatore sul circuito di utilizzazione e la piccola differenza di fase che ancora esiste viene rapidamente a sparire.

Lo stesso risultato si ottiene se invece delle lampade si adoperano due voltometri, ed allora la posizione dell'ago sullo zero indica il raggiungimento del sincronismo.

Questi apparecchi, così disposti, portano il nome di INDICATORI DI FASE, ed essi possono trovarsi contemporaneamente istallati, e, nel caso di alternatori ad alto potenziale, sono inseriti in circuito con l'intermezzo di TRASFORMATORI, che abbassano la differenza di potenziale ai loro poli.

Prima però di chiudere questa parte dobbiamo aggiungere, che, per ottenere un buon collegamento degli alternatori in parallello, essi debbono presentare una grande autoinduzione nell'armatura, oppure una grande inerzia negli organi rotanti, proprietà che possono esprimersi con una sola frase dicendo che gli alternatori, per bene accoppiarsi in parallello, debbono possedere una grande riserva di energia sia essa elettromagnetica che meccanica.

Il rendimento degli alternatori è anche esso elevatissimo, come quello delle dinamo, e raggiunge il 94 % a pieno carico.

RIASSUNTO

I difetti che si riscontrano negli alternatori hanno le medesime cause e si riparano coi medesimi criteri seguiti per le dinamo a corrente continua. — Lo scintillio alle spazzole può riscontrarsi solo dal lato del raddrizzatore quando si tratti di alternatore ad autoeccitazione. — L'isolamento dei circuiti indotti deve essere curato seriamente a causa della elevata differenza di potenziale generata. — La montatura, l'istallazione ed il collaudo debbono essere curati con le medesime previdenze usate per le dinamo. — Ragioni per cui è consigliabile evitare l'isolamento dell'incastellatura nelle macchine ad elevato potenziale. — Gli alternatori non possono accoppiarsi in serie, perchè tendono a mettersi in opposizione; ma si accoppiano ottimamente in parallelo. — La inserzione sulla linea di un altro alternatore si deve

fare nel momento in cui si abbia una perfetta concordanza di fase fra la corrente di linea, e quella da esso generato: per accorgersi del momento opportuno si inseriscono in istazione degli apparecchi detti indicatori di fase. — Principio sul quale sono fondati gli indicatori di fase. — Per ottenersi un buon accoppiamento in parallelo degli alternatori, questi debbono presentare o grande autoinduzione dell'armatura o grande inerzia degli organi rotanti.

PARTE SESTA

TRASFORMATORI A CORRENTE CONTINUA

I.

Accumulatori

Capitolo I.

Teoria degli accumulatori

I TRASFORMATORI sono apparecchi che servono a far variare gli elementi della corrente innalzando la differenza di potenziale ed abbassando la intensità o viceversa: nel primo caso si chiamano TRASFORMATORI ASCENDENTI, nel secondo TRASFORMATORI DISCENDENTI.

È evidente che qualunque sia il tipo di trasformatore, che si adopera, si deve avere sempre la diminuzione di uno degli elementi proporzionalmente all' aumento dell' altro, perchè la POTENZA della corrente, rappresentata dal prodotto di entrambi, deve rimanere invariata, tranne quella piccola diminuzione assorbita dalle resistenze passive di qualunque genere esse siano e che rappresenta il rendimento dell' apparecchio che si adopera.

Non tutti classificano gli accumulatori fra i trasformatori di corrente, ma alcuni li considerano piuttosto fra gli apparecchi che servono a generarla. Quando, però, si consideri che gli accumulatori, per dare corrente, debbono riceverne in precedenza, e non possono restituire

che quella che ricevono, si comprende subito quanto inesatta sia la classificazione di essi fra i generatori, perchè i generatori trasformano altre forme di energia in energia elettrica e mai ritrasformano in elettrica una energia che già era tale. Questa trasformazione è la caratteristica speciale dei TRASFORMATORI e quindi è più ra zionale collocare gli accumulatori fra i TRASFORMATORI A CORRENTE CONTINUA chefra i generatori.

Una giustifica del nostro modo di vedere sta nel fatto, che, data la possibilità del frazionamento della forza elettromotrice, che con essi si può ottenere, dando ciascun elemento circa 2 volt, essi si possono caricare con una determinata differenza di potenziale, e, poi, variamente aggruppandoli, si possono avere vari valori di differenze di potenziale. Anzi quasi sempre nelle grandi stazioni elettriche, in cui sono istallate poderose batterie di accumulatori, questi si caricano con un determinato raggruppamento e si scaricano con raggruppamento diverso.

Gli accumulatori, nel primo istante della loro invenzione, vennero chiamati PILE SECONDARIE, perchè, come le pile, presentano nel loro funzionamento azioni chimiche. Ma, mentre queste han bisogno solo della chiusura del circuito per funzionare, quelli debbono essere prima attraversati dalla corrente, che si immagazzina sotto forma di energia potenziale, per poterla restituir poi quando si chiude l'apparecchio su un circuito di utilizzazione.

Noi non ci soffermeremo a lungo sulla teoria degli accumulatori ma a preferenza esamineremo i procedimenti che si seguono per la formazione delle lastre che costituiscono i diversi elementi.

Gli accumulatori possono dividersi in due grandi categorie: ACCUMULATORI TIPO PLANTÈ o a lastre massicce, ed ACCUMULATORI TIPO FAURE o a lastre rivestite di ossidi di piombo.

La formazione Plantè (anno 1860) è quella che dà massima stabilità alle lastre e le fa resistere a tutte le cause che tendono a deteriorarle, essendo esse costituite da piombo metallico massiccio, fuso o laminato.

Le lastre si immergono in acqua leggermente acidulata con acido solforico e si lascia passare la corrente, che provoca la elettrolisi dell'acqua per la via indiretta dell'acido solforico: l'ossigeno si sviluppa sul polo positivo ossidando la lastra di piombo e l'idrogeno su quello negativo eliminando le piccole tracce di ossido che possono essere rimaste aderenti al piombo.

Le azioni chimiche, chè più generalmente si ammette avvengano nella carica e nella scarica, sono quelle della DOPPIA SOLFATAZIONE.

Immergendo due lastre di piombo metallico (*Pb*) in una soluzione di acido solforico ($H_2\ SO_4$) e facendo passare la corrente, si ha decomposizione dell'acqua: l'ossigeno (*O*), sviluppandosi sul polo positivo, trasforma il piombo (*Pb*) prima in ossido di piombo (*Pbo*) e poi continuando l'azione in perossido (PbO_2) mentre l'idrogeno (*H*), sviluppandosi sulla lastra negativa riduce allo stato metallico il piombo se in esso si riscontrava qualche leggera traccia di ossido, e si sviluppa liberamente nel caso che il piombo era già perfettamente metallico (1).

Nella scarica invece il radicale acido SO_4 attacca il piombo del polo positivo e del negativo trasformandoli entrambi in solfato e dando formazione di acqua, mentre nella seconda carica si ha da una parte riformazione

(1) La equazione chimica che spiega questo fenomeno è la seguente:

$$\underset{\text{piombo}}{Pb} + \underset{\text{acido solforico}}{H_2\,SO_4} + \underset{\text{acqua}}{2H_2O} + \underset{\text{piombo}}{Pb} =$$

$$= \underset{\text{perossido di piombo}}{Pb\,O_2} + \underset{\text{acido solforico}}{H_2\,SO_4} + \underset{\text{idrogeno}}{2H_2} + \underset{\text{piombo}}{Pb}$$

di perossido di piombo e formazione di acido solforico, e dall altra riduzione di piombo metallico e formazione di acido solforico (1).

Nella scarica avendosi consumo di acido solforico, a causa della duplice solfatazione degli elettrodi, la densità della soluzione decresce, mentre si riporta al valore normale nella carica successiva.

L'azione di accumulazione della energia è tanto maggiore quanto più profondo è lo strato di piombo che viene ad essere impegnato nelle reazioni e per tale ragione si suole trattare la lastra positiva, prima di immergere nel liquido dell'accumulatore, con una soluzione di acido nitrico per renderne spugnosa la superficie.

Il rapporto fra l'acido nitrico e l'acqua è di uno a due in volume. Epstein consiglia meglio un bagno di attacco alla temperatura di ebollizione con l'uno per cento di acido nitrico. Prima, però, di adoperare nell'accumulatore le la-

---

(1) La equazione chimica che dà ragione del fenomeno è la seguente :

$$\underset{\text{perossido di piombo}}{PbO_2} + \underset{\text{acido solforico}}{2H_2SO_4} + \underset{\text{piombo}}{Pb} =$$

$$= \underset{\text{solfato di piombo}}{PbSO_4} + \underset{\text{acqua}}{2H_2O} + \underset{\text{solfato di piombo}}{PbSO_4}$$

Nella carica successiva l'idrogeno dell'acqua si forma sul polo negativo:

$$\underset{\text{solfato di piombo}}{PbSO_4} + \underset{\text{idrogeno}}{H_2} + \underset{\text{acido solforico}}{H_2SO_4} + \underset{\text{piombo}}{Pb}$$

e l' ossigeno su quello negativo

$$\underset{\text{solf. di piombo}}{PbSO_4} + \underset{\text{ossigeno}}{O} + \underset{\text{acqua}}{H_2O} + \underset{\text{acido solforrico.}}{H_2SO_4} + \underset{\text{peross. di piombo}}{PbO_2}$$

in modo che alla fine della carica si trova novellamente

$$\underset{\text{perossido di piombo}}{PbO_2} + \underset{\text{acido solforico}}{2H_2SO_4} + \underset{\text{piombo}}{Pb}$$

riproducendosi le identiche condizioni precedenti.

stre, che hanno subito la preventiva preparazione con l' acido nitrico, bisogna lavarle accuratamente in modo da eliminare ogni traccia di esso.

Dopo una prima carica, anche con questo trattamento preventivo, l'accumulatore non è capace di funzionare in modo normale, perchè lo strato impegnato nelle reazioni risulta piccolo, e quindi piccola la quantità di energia che esso può immagazzinare.

Per eliminare quest' inconveniente gravissimo, si deve far subire all'accumulatore una preventiva preparazione, il cui periodo è conosciuto sotto il nome di PERIODO DI FORMAZIONE.

A tal' uopo, terminata la prima carica, si inverte il senso della corrente caricando l'accumulatore in senso inverso, cioè riducendo in piombo metallico la parte che si era ossidata ed ossidando l'altra, e poi ritornando novellamente alla carica nel senso primitivo, e così di seguito per successive inversioni fino alla completa formazione dell' elemento. Per tale procedimento, ad ogni carica successiva si impegna sempre uno strato più profondo delle lastre e si aumenta in tal modo la quantità di energia che si può immagazzinare.

Questa operazione deve continuarsi per diversi mesi, ottenendosi sulla lastra positiva sempre una maggiore quantità di ossido e sempre una maggiore suddivisione del piombo della lastra negativa.

La carica, ordinariamente, si arresta quando lo sviluppo del gas diventa troppo violento da far spruzzare fuori dei vasi, nel gorgoglio, molte bollicine di liquido, perchè arrivati a tal punto il gas che si sviluppa non ha più nessuna azione sulle lastre, ma si svolge liberamente nell' aria.

È inutile dire che, quando l' accumulatore è già formato, dopo che si è scaricato per fornire energia al cir-

cuito di utizzazione, basta una sola carica per restituirgli la energia che ha erogata.

Gli accumulatori tipo Faure (anno 1881), invece, non hanno bisogno di tutto questo periodo di formazione, perchè su entrambe le lastre di piombo viene fissata una pasta di MINIO e LITARGIRIO, e quindi bastano due o tre cariche in senso inverso per rendere possibile il normale funzionamento dell' apparechio.

Su questi due tipi, che sono i fondamentali di tutti gli accumulatori a piombo conosciuti, si è sbizzarrita la fantasia ed il genio degli inventori per trovar apparecchi che presentino seri vantaggi su quelli già esistenti.

Prima si è cercato di rendere più sviluppata la superficie attiva, per rendere possibile la erogazione di correnti più intense, e finalmente di ottenere accumulatori che in brevissimo tempo immagazzinino una quantità grandissima di energia da restituire a seconda delle richieste ed in un periodo molto più lungo di quello impiegato per la carica.

Questi ultimi accumulatori hanno ricevuto il nome di ACCUMULATORI A CARICA RAPIDA e ne hanno permesso l'applicazione alla trazione ed agli automobili.

Negli accumulatori tipo Faure le massime cure bisogna porle nell'assicurare la pasta attiva sulla carcassa di piombo ed impedire che, per effetto della corrente da erogare, o di urti o di trepidazioni, finisse con lo staccarsi e col raccogliersi sul fondo dei recipienti, provocando un deterioramento della lastra e talvolta anche dei corti circuirti fra lastra e lastra quando esse sono molto avvicinate.

Le tendenze dei costruttori, poi si sono rivolte a cercare un tipo di accumulatore più leggiero di quello a piombo, che presenta un peso rilevante e che — per molte applicazioni, e specie per la trazione elettrica — lo rende assolutamente proibitivo.

RIASSUNTO

I trasformatori servono ad elevare o ad abbassare la differenza di potenziale mentre abbassano o elevano la intensità: nel primo caso si chiamano trasformatori ascendenti, nel secondo discendenti. — Gli accumulatori sono costituiti da lamine di piombo immerse in una soluzione di acido solforico. — Nella carica la lamina positiva si trasforma in peros sido di piombo, e la negativa in piombo metallico: nella scarica entrambe le lastre si trasformano in solfato di piombo. — Gli accumulatori appartengono a due tipi principali: al tipo Plantè o a formazione lenta ed al tipo Faure o a formazione rapida. — Negli accumulatori Plantè si deve caricare per diversi mesi l' accumulatore invertendo ad ogni carica il senso della corrente per far sì che si aumenti la energia immagazzinata per l' azione chimica che si addentra sempre di più. — Negli accumulatori tipo Faure sulle lastre è riportata una pasta di minio e litargirio.—Gli accumulatori a carica rapida immagazzinano grande quantità di energia, che poi restituiscono lentamente in un periodo più lungo.

CAPITOLO II.

Diversi tipi di accumulatori

Come già abbiamo accennato nel capitolo precedente, gli accumulatori a piombo possono raggrupparsi sotto due grandi categorie, di cui non rappresentano che modificazioni sia per rendere più rapida la preparazione delle lastre che per rendere possibile una maggiore CAPACITÀ dell'elemento, ed una più lunga durata delle lastre che si adoperano.

Quì è d'uopo intendersi sul significato che deve darsi alla parola CAPACITÀ, significato che è completamente diverso da quello che noi ordinariamente siamo abituati a considerare in elettrotecnica.

La CAPACITÀ di un accumulatore rappresenta la quantità di corrente o di energia che esso può immagazzinare e restituire nel circuito esterno nel periodo della scarica.

Ciò premesso risulta che possono considerarsi due specie di capacità, quella in quantità di elettricità e quella di energia.

La capacità in quantità di elettricità è individuata dal prodotto della intensità di corrente che l'accumulatore può erogare per il tempo che dura l'erogazione, e si suole misurare in ampèr-ora, ossia con un numero che è costituito dal prodotto della intensità della corrente per il tempo per cui è durata la scarica.

Così, supponendo un accumulatore che ha erogato 10 ampère per 2 ore si dirà che esso ha la capacità di 20 ampèr—ora, e la stessa capacità avrebbe avuto se avesse erogato 20 ampère per un' ora, o 5 ampère per quattro ore e così via.

La capacità, nel caso di scariche variabili, si determina

moltiplicando le intensità pei rispettivi tempi pei quali sono durate e facendo la somma dei singoli prodotti così ottenuti. Così per esempio un accumulatore che per mezz' ora ha erogato 10 ampère, per un quarto d'ora 5 ampère, per un'ora 7 ampère ha una capacità in ampèr-ora rappresentata da

$$0{,}5 \times 10 + 0.25 \times 5 + 1 \times 7 = 13{,}25 \text{ ampère-ora}$$

La capacità in energia si misura moltiplicando la potenza fornita dall'accumulatore per il tempo in cui essa si è sviluppata, e il prodotto si esprime in watt-ora. In questo caso non potendosi considerare costante la potenza perchè la differenza di potenziale ai poli dell' accumulatore va man mano diminuendo con il tempo di funzionamento, deve ricorrersi alla somma di questi prodotti fatti per tempi brevissimi nei quali si possa ritenere costante la differenza di potenziale.

Quando si divide la capacità in ampèr-ora, o in watt-ora, per il peso delle lastre di piombo dell' elemento che si considera si ha la CAPACITÀ SPECIFICA dell' elemento.

Quello che abbiamo detto per gli accumulatori isolati vale anche per le batterie, nelle quali la CAPACITÀ si misura col medesimo criterio.

Gli accumulatori industriali a differenza delle pile non presentano diaframma poroso ed hanno, per tale ragione, una resistenza interna che è piccolissima ed è dell' ordine dei millesimi di ohm. Solo per le misure da gabinetto si adoperano degli accumulatori a vaso poroso fatti con ritagli di piombo o di lastre vecchie di accumulatori industriali (accumulatori Gandini) ma essi hanno un' elevata resistenza interna unita a piccolissima capacità ed a piccola ritenuta della carica, in modo da essere inapplicabili a scopi industriali.

Gli accumulatori tipo Plantè hanno le lastre positive e negative di piombo metallico, e si preparano come innanzi abbiamo visto sottoponendo l'elemento a cariche e scariche successive: essi non hanno, quindi, per nulla, riportate sulle loro superficie ossidi di piombo estranei alla lastra stessa.

Per aumentare, però, la capacità dell'elemento, e per diminuire, quindi, proporzionalmente il peso della batteria da impiantare — cosa della massima importanza specialmente per le applicazioni alla trazione in cui gli elementi tipo Faure presentano l'inconveniente di esser messi rapidamente fuori servizio per il distacco dalle lastre della pasta attiva in seguito alle trepidazioni, alle scosse ed agli urti — bisogna aumentare, a parità di dimensione e di peso, la superficie della lastra che viene in contatto con il liquido eccitatore, perchè proporzionalmente a questo aumento viene a crescere la capacità dell'elemento, crescendo la quantità di ossido che viene a determinarsi su di essa.

Il Plantè, per aumentare la superficie attiva relativamente allo spazio occupato, avvolgeva a spirale le due lastre isolandole con uno strato di *caoutchouc*.

Per aumentare la superficie attiva si suole in alcuni tipi ricavare delle striature sulla lastra positiva più o meno profonde e di forma variabilissime ed in altri invece si cacciano fuori delle punte erpicando la superficie con una specie di aratro, a scapito però della solidità della lastra.

Gli accumulatori, invece, del tipo Faure hanno le lastre positive e negative in cui il piombo metallico non serve che da sostegno alla pasta attiva che non è altro che un miscuglio di minio e litargirio impastato con un po' di acido solforico.

Nella costruzione degli elementi di questo tipo i co-

struttori debbono risolvere un duplice problema: quello di ottenere — a parità di condizioni nel resto — la massima superficie attiva possibile, e quello di raggiungere tale un' intima connessione fra la pasta sovrapposta ed il supporto di piombo da rendere difficilissima la caduta di quella.

Il primo problema è risoluto più o meno elegantemente, ma si è certamente avviato su una via pratica; il secondo, per quanti tentativi si siano fatti, non può dirsi che abbia raggiunto il desiderio degli stessi inventori, perchè essi stessi son costretti a dichiarare che si è ben lungi dall' aver raggiunta non diciamo la perfezione, ma neppure di aver lontanamente ad essa mirato.

Su questo tipo di formazione esiste una più lunga serie di varietà, che, quasi tutte differiscono per la forma che si è tentata dare ai supporti, alcune giustificatissime, altre senza ragioni plausibili.

Ordinariamente i supporti per la pasta sono formati da piombo unito ad antimonio (95 parti di piombo e 5 di antimonio) per essere più resistenti, ed in essi sono scavati dei fori di forma diversa nei quali viene compressa la pasta. Questa in alcuni casi si trova fra due graticolati di piombo che costituiscono il supporto e che presentano i nodi di uno corrispondenti ai centri dei vuoti dell' altro (come vedesi nella fig. 24) per renderne il più che è possibile difficile la caduta.

In ultimo, essendosi riconosciuto che gli elettrodi positivi sono quelli che nella carica e nella scarica subiscono le massime deformazioni, e quindi danno luogo più facilmente alla caduta della pasta attiva, si è tentato un tipo di accumulatore misto con lastre positive del tipo Planté e con lastre negative del tipo Faure: questa è la disposizione che va più generalizzandosi nel momento attuale. Un esempio di accumulatore misto è

dato dall'accumulatore Tudor di ultimo modello (fig. 25) in cui le lastre positive sono di piombo laminato con profondissime striature, laddove le negative sono a graticola con ossido di piombo riportato.

Ma non esistono solo accumulatori a piombo, anzi la tendenza del giorno d'oggi è quella di trovare un accu-

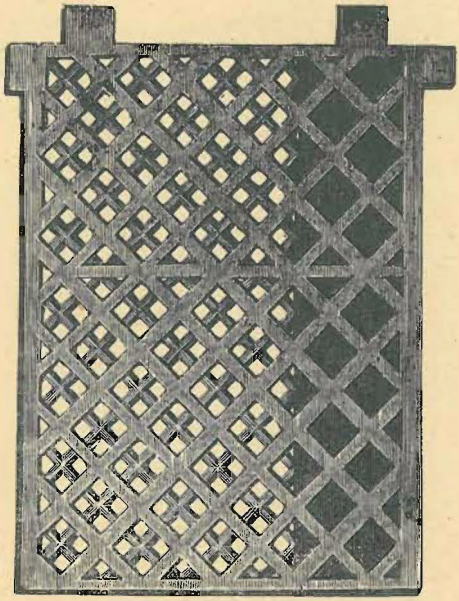


Figura 24.ª

mulatore industriale in cui gli elettrodi siano di sostanza più leggera per ottenere, a parità di peso, una energia maggiore, o a parità di energia un peso molto ridotto.

Una pila Daniell può essere rigenerata dalla corrente elettrica ritornando a funzionare dopo di essersi completamente esaurita diventando quindi un accumulatore. Infatti al passaggio della corrente si ha formazione di solfato di rame ($Cu\ SO_4$) sciogliendosi il rame depositato

sul polo positivo, e deposito di zinco (*Zn*) sul polo negativo, restituendosi da una parte la soluzione allo stato primitivo e dall' altro lo zinco riprendendo il primitivo spessore.

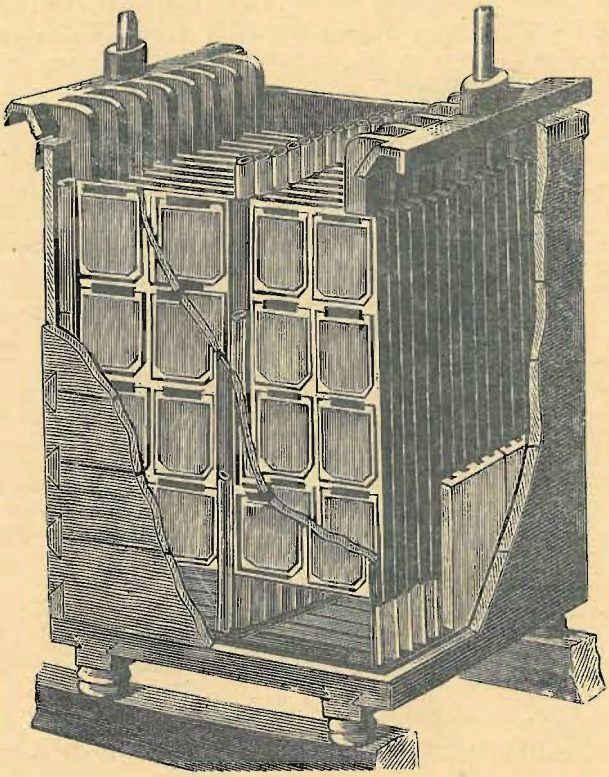


Figura 25.ª

Altri accumulatori discendono dalla pila primaria Lalande e Chaperon (accumulatori Commelin e Desmazures anno 1887 perfezionati nel 1891 dall'americano Waddel-Entz), e sono costituiti da un elettrodo positivo di rame poroso ed uno negativo di ferro stagnato in una solu-

zione di zincato di potassio e di sodio e dànno una differenza di potenziale di 0,84 volt.

Reynier sostituì agli attuali accumulatori delle lastre di zinco a quelle di piombo del polo negativo, ottenendo una differenza di potenziale di 2,35 volt, superiore a quella di tutti gli elementi conosciuti. Si hanno però delle azioni locali che consumano lo zinco e abbassano enormemente il rendimento.

D' Arsonval mantiene i due elettrodi di piombo, ma riduce quello positivo ad una lastra liscia e sostituisce alla soluzione ordinaria una di solfato di zinco ($Zn\ SO_4$) ottenendo nella carica un deposito di zinco sulla lastra negativa: però questo si discioglie anche a circuito aperto, rendendo impossibile il regolare funzionamento. Per evitare questo inconveniente Werner sostituisce alla soluzione di solfato di zinco una di solfato di zinco, cadmio e magnesio.

Lo svedese Junger ha costruito un elemento con elettrolito alcalino con lastre negative di cadmio e positive di argento, non privo di pregi, ma troppo costoso per diventare industriale.

L' accumulatore Edison, finalmente, è a base di ferro e nickel con una soluzione di idrossido di potassio: Esso dà una capacità abbastanza forte, ed un comportamento ottimo anche sottoposto a scariche esagerate.

RIASSUNTO

Gli accumulatori a piombo possono appartenere a due categorie: tipo Planté e tipo Faure. — La capacità di un accumulatore è la quantità di carica o di energia che l'accumulatore può restituire. — La capacità specifica è il rapporto fra la capacità ed il

peso della lastra adoperata. — Gli accumulatori sono senza diaframma e presentano una resistenza interna dell'ordine dei millesimi di ohm. — Accumulatori tipo Plantè. — Accumulatori tipo Faure. — Accumulatori misti. — Altre specie di accumulatori con elettrodi non di piombo.

CAPITOLO III.

Fnnzionamento degli accumulatori

Supponiamo di avere a nostra disposizione un accumulatore, di tipo qualsiasi, già bello e formato, e già carico ed esaminiamo il suo modo di funzionamento a cominciare da quando è carico per renderci conto più chiaramente dei fenomeni che avvengono, e per stabilire le precauzioni da seguire per non deteriorare l'elemento.

Se l'accumulatore è da poco tempo caricato e non è stato mai adoperato, misurando la differenza di potenziale a circuito esterno aperto si trova eguale a poco più di 2,40 volt.

Chiuso su una resistenza che non permetta una erogazione di corrente superiore alla normale, e facendo variare questa da valori grandissimi, fino al minimo permesso per il tipo che si esperimenta, la differenza di potenziale prima rapidamente si abbassa e raggiunge il valore di poco più di 2 volt e poi si mantiene quasi costante per tutto il tempo della scarica, per cominciare a discendere rapidamente e raggiungere il valore di 1,85 volt a cui bisogna arrestare la scarica se non vuolsi veder deteriorato l'elemento che si considera, per la ricopertura di uno spesso strato di solfato di piombo, che deve essere raschiato per essere asportato completamente.

La corrente di scarica nell'accumulatore non deve su-

perare il valore normale, che si ritiene variabile da 1 ampère a 2,5 ampère ma sarebbe conveniente non oltrepassare 1,5 ampère per kg. di piombo, perchè, quando si oltrepassa tale limite, le lastre si distorcono perchè l'azione non si esercita egualmente su tutta la superficie e le diverse parti finiscono col diversamente dilatarsi. Queste distorsioni negli elementi tipo Plantè possono provocare solo dei corti circuiti fra le lastre successive, che finiscono col deteriorare ancora di più l'elemento in cui si sono manifestate, ma in quelli tipo Faure determinano anche certamente la caduta della pasta attiva, qualunque sistema si fosse adottato per ben condizionarla. Essi sono, quindi, grandemente deleteri, e negli impianti, come vedremo a suo tempo, debbono adoperarsi speciali disposizioni per evitare eccessive richieste di corrente dalla batteria adoperata.

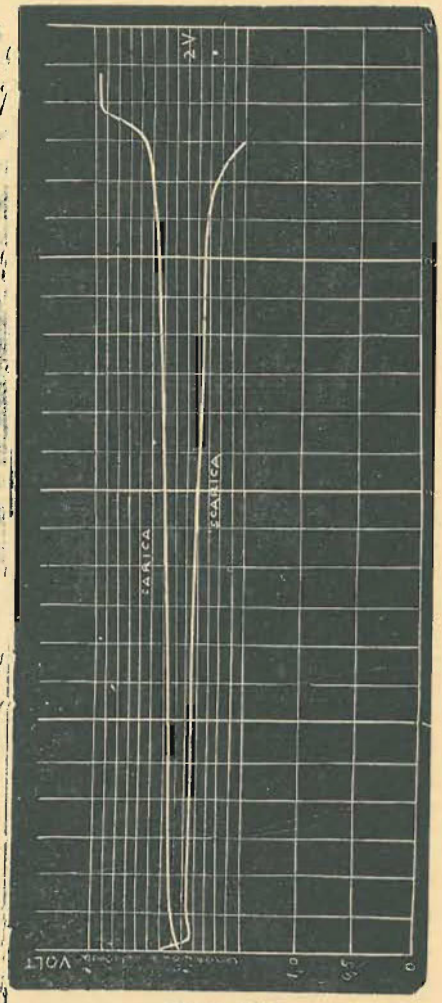


Figura 26.ª

La densità del liquido varia nei dintorni di 20° Beaumé ma però non si mantiene costante e va man mano decrescendo con la scarica, e arriva intorno a 14° quando l' accumulatore è completamente scarico.

Alcuni costruttori consigliano una maggiore concentrazione della soluzione, ma, in tal caso, si riscontra la solfatazione delle lastre negative anche in un accumulatore carico ed a circuito esterno aperto.

Scaricatosi l' accumulatore deve ricaricarsi inserendo nel circuito una resistenza variabile per modo che la intensità, che circola nell' interno dell' elemento, non superi il valore normale.

Infatti se noi seguiamo l'andamento della carica di un elemento osservando ad ogni istante la differenza di potenziale ai serrafili dell' accumulatore e la intensità che lo attraversa, vediamo che mentre la prima va aumentando con la carica, la seconda diminuisce perchè aumenta la forza controelettromotrice che nell' elemento si determina.

Col diminuire di questa intensità debbonsi escludere dal circuito resistenze per riportarla al valore normale, oppure bisogna aumentare il potenziale di alimentazione.

Potrebbe anche la batteria caricarsi a potenziale costante ma allora nei primi istanti gli elementi verrebbero a soffrire perchè sarebbero sottoposti ad una intensità un po' sforzata.

La differenza di potenziale ai poli dell' accumulatore segue nella carica la fase inversa che seguiva nella scarica. Essa sale rapidamente fino a 2 volt; giunto a questo valore si ferma e resta invariata per lungo tempo e poi risale novellamente e raggiunge rapidamente il valore di 2,50 e poi lentamente 2,70 volt. Arrivato a questo punto la carica è finita, quantunque il limite massimo

di carica nei tipi comunemente adoperati non superi i 2,60 volt.

Il finire della carica si determina non solo dalla differenza di potenziale che si riscontra ai poli degli elementi che si hanno in carica, e dal colore della lastra positiva che diventa di un bruno caratteristico, ma anche dalla densità del liquido e dal forte sviluppo di gas che produce proiezioni di bollicine di liquido nei dintorni, e fa assumere a questo un colore lattiginoso.

La sola colorazione del liquido, però, non può essere un indizio sicuro del termine della carica, perchè essa si manifesta anche nell'inizio, quando, caricandosi l'accumulatore con una intensità un po' forte, non tutto il gas, che si sviluppa, entra in azione, ma buona parte di esso sfugge nell'atmosfera.

La differenza di potenziale raggiunta al fine della carica però non si mantiene, ma dopo poco tempo, anche ad elemento inoperoso, scende nei dintorni di 2,20 volt, presso cui si mantiene fino a che l'accumulatore si trova in condizioni di perfetto isolamento dal suolo e non venga chiuso su nessun circuito, ossia rimanga perfettamente inattivo.

Con lo scaricarsi dell'accumulatore, mentre diminuisce la differenza di potenziale, aumenta la resistenza interna dell'elemento, per lo strato di solfato che va determinandosi sulle lastre.

Gli accumulatori, quando si sono scaricati e debbono rimanere inattivi, debbono ricaricarsi, perchè se rimangono scarichi si ricoprono di uno spesso strato di solfato di piombo su entrambe le lastre ed esso non arriva a distruggersi neppure con cariche sforzate, e allora o si debbono cambiare le lastre, o sottoporle — se è possibile — ad un forte raschiamento per eliminare del tutto il deposito che si è formato.

RIASSUNTO

La differenza di potenziale data da un accumulatore al finire della carica è di circa 2,70 volt: rapidamente scende a 2,20 volt anche a circuito aperto, mentre nel funzionamento rasenta subito i 2 volt, e durante quasi tutta la scarica si mantiene costantemente intorno a questo valore, per poi precipitare in vicinanza di 1,85 volt ed allora bisogna interrompere la scarica. — La corrente di scarica di un accumulatore non deve superare al massimo 2,5 ampère per chilogramma di piombo, perchè altrimenti la lastra finisce col deteriorarsi. — Nella carica si riscontra la fase inversa a quella della scarica. — Si riconosce che la carica è terminata quando la differenza di potenziale raggiunge il valore innanzi detto e si ha abbondante sviluppo di bolle gassosse sui due elettrodi e quando il liquido assume l'aspetto lattiginoso. — Gli accumulatori non debbono lasciarsi scarichi altrimenti le lastre si solfatizzano profondamente.

Capitolo IV.

Istallazione degli accumulatori

La istallazione degli accumulatori importa una maggiore cura sia come scelta di locali, che come collocamento degli apparecchi date le emanazioni gassose che da essi, sia nella carica che nella scarica, si ottengono.

Essa deve quindi essere studiata sotto un triplice aspetto: igienico, di sicurezza e di perfetto funzionamento.

Se per le dinamo vi era bisogno di locali spaziosi ed aerati, per gli accumulatori questa condizione è indispensabile sotto il rapporto igienico, per evitare danni alla salute degli individui preposti alla loro manutenzione e condotta.

Nel periodo della carica, specialmente, si sprigionano dagli accumulatori esalazioni gassose che colpiscono a preferenza le vie respiratorie, eccitando tosse fortissima, e, prolungandosi la loro azione, anche sputi sanguigni, derivanti dall' azione dell' acido solforico sulla mucosa dell' esofago.

Quest' azione deleteria perdura anche — sebbene mitigata nei suoi effetti — nel periodo della scarica e si risente subito entrando in una sala dove si trovano accumulatori in azione sotto forma di un leggero pizzicore alla gola, quando la ventilazione non è bene avviata. Ad essa anzi bisognerebbe provvedere mediante estrattori meccanici, che rinnovassero continuamente l' aria per espellere nell' atmosfera quella viziata dalle esalazioni.

Ma la massima cura deve porsi nella istallazione degli accumulatori sotto il riguardo della sicurezzza dell' impianto per evitare danni alle persone ed al macchinario che potrebbero risultare esizialissimi.

Gli accumulatori — come più volte abbiamo visto — sono costituiti, nei tipi veramente industriali, da lastre di piombo opportunamente preparate, immerse in una soluzione di acido solforico al 10 % in peso, il tutto contenuto in apposite vaschette. La natura di queste varia a seconda della destinazione della batteria, sia essa stabile che trasportabile. In quest' ultimo caso, si ha bisogno di speciali disposizioni per impedire il riversarsi del liquido che non solo metterebbe in condizioni di in-

feriorità le batterie, ma deteriorerebbe tutti gli organi coi quali verrebbe in contatto e perciò debbonsi adottare speciali disposizioni.

Noi ci limiteremo da prima — per non complicare la trattazione — all' esame dello impianto di una batteria stabile, rimandando all' ultima parte quello di una batteria trasportabile.

Nelle batterie stabili, ordinariamente, si adoperano vaschette di vetro, però queste si rivestono ben presto di un velo di umidità che stabilisce — se non si adottano speciali disposizioni — il contatto fra gli elementi ed il suolo.

Anche supponendo il locale, nel quale si fa l'impianto, del tutto asciutto, e mancando per tal ragione, la possibilità di determinarsi una via conduttiva in comunicazione col suolo per effetto della umidità, le proiezioni di liquido, che avvengono nel periodo della carica, il propagarsi del velo liquido alla superficie del vetro per capillarità, unito al liquido che finisce per attraversare i pori del vetro, producono sempre una via di comunicazione col suolo che mette in sicuro pericolo la batteria se non si provvede al suo perfetto isolamento.

Ed il pericolo consiste non solo nell' azione deleteria della corrente sull' organismo umano, perchè si può toccare un estremo della batteria mentre si è in contatto con l'altro estremo che trovasi in comunicazione col suolo ed è a differenza di potenziale elevatissima dall' altro, ma anche nei corti circuiti che possono stabilirsi fra diversi elementi, e che possono provocare da una parte dispersione di corrente e dall' altra il riscaldamento di conduttori ed incendi conseguenti, a somiglianza degli altri corti circuiti che abbiamo esaminati trattando del macchinario elettrico e dei conduttori attraversati dalla corrente.

Si deve, quindi, porre la massima cura nell'isolamento dei diversi elementi fra di loro e dal suolo, adoperando a tale uopo un doppio ordine di isolatori per provvedere a questa duplice necessità.

Ciascun elemento, con l'orlo spalmato di un po' di paraffina per evitare l'uscita del liquido per effetto di capillarità, viene poggiato sopra isolatori di porcellana, che sono fissati su traverse di legno ben secche e impregnate di sostanze idrofughe ed isolanti, e queste, alla lor volta, debbono essere isolate dal suolo mediante altri isolatori di porcellana. I primi isolatori servono ad impedire contatti conduttivi fra elemento ed elemento, le traverse di legno non fanno altro ufficio che quello di sorreggere la batteria, ed i secondi isolatori servono ad isolare tutta la batteria dal suolo.

È assolutamente da sconsigliarsi la disposizione degli elementi di una batteria su diverse file sovrapposte, sia per la difficoltà della manutenzione, che per la facilità di comunicazioni conduttive fra due elementi soprastanti attraverso il supporto, elementi che possono trovarsi ad elevata differenza di potenziale. È questa una economia di spazio che si paga caramente con i pericoli che nascono e con la difficoltà della manutenzione ed anche della semplice ispezione degli elementi.

In vista dello sviluppo di gas, che si verifica nel periodo della carica degli accumulatori, deve assolutamente vietarsi, nelle sale dove sono impiantate le batterie di accumulatori, l'ingresso di materie accensibili od accese, e devesi rinunziare all'impianto di esse in locali dove, per la lavorazione che si esegue — mulini, setifici, cotonifici ecc. —, si solleva un pulviscolo che ha qualità accensibili spiccatissime.

Anche provvisto al perfetto isolamento della batteria dal suolo, è conveniente provvedere questo di un piano

di manovra isolato, per impedire dolorose sorprese agli operai nel caso che si determini un difetto di isolamento.

Stabilito il piano di manovra, curato l'isolamento dal suolo delle traverse di legne e quello dei diversi elementi della batteria, e messi a posto i recipienti di vetro, che debbono contenere le piastre ed il liquido, bisogna pensare alla preparazione di questo e alla montatura della batteria.

Il liquido non è altro che una soluzione di acido solforico in acqua nel rapporto di 1 a 10 in volume, e si prepara in apposite e grandi vasche in modo da avere una uniformità perfetta nella composizione per tutti gli elementi. È quì è d'uopo avvertire che condizione essenzialissima per il buon funzionamento di una batteria di accumulatori è la perfetta identità di condizione dei diversi elementi sia come composizione che come carica che debbono ricevere, e scarica che debbono fornire.

L'acido solforico, da adoperarsi, deve essere perfettamente puro; l'acqua quando non è potabile deve essere o bollita o meglio distillata; ed il recipiente nel quale si prepara la soluzione dev' essere ben pulito.

Preparato il liquido, si mettono a posto, nelle diverse vaschette, le lastre, altenando le positive con le negative. Ordinariamente in ogni vaschetta tutte le lastre positive sono saldate autogenamente fra di loro e così pure le negative ed in tal caso bisogna nettare prima bene le superficie che debbono venire in contatto, raschiandole con coltello o meglio con carta di smeriglio, in modo da cacciar fuori la superficie splendente del piombo metallico.

Prima, però, di procedere a questa saldatura, bisogna ispezionare le lastre ed assicurarsi della bontà della loro condizione, verificando la perfetta forma piana delle due facce, e, nel caso di accumulatori tipo Faure, la com-

pleta aderenza della pasta attiva con il supporto. Riscontrandosi in alcuni punti la materia attiva non bene aderente al supporto è conveniente asportarla per evitare che, nel funzionamento, distaccandosi di più, determini corti circuiti fra le lastre successive.

Messe a posto le lastre, bisogna aver cura che esse non vengano in contatto con il fondo del recipiente, e, a tale uopo, si dispongono fra lastra e lastra delle bacchette di vetro o di ebanite per impedire contatti nel caso di leggere deformazioni.

Le lastre debbono disporsi sollevate dal fondo, specialmente per gli accumulatori tipo Faure, per impedire corti circuiti fra quelle vicine per opera della pasta attiva, che, anche in condizioni di regime normale, finisce col distaccarsi e cadere al fondo del recipiente. A questo sollevamento si provvede sia mediante opportuni isolatori di vetro disposti di tanto in tanto sul fondo del recipiente, che facendo le lastre un po' più corte dell'altezza del recipiente e sospendendole sull'orlo.

Le unioni fra un elemento ed il successivo, nel caso di unioni stabili, si fanno mediante saldature autogene, per le quali bisogna procedere con le medesime cautele innanzi menzionate, o mediante serrafili che vengono messi in comunicazione col quadro di distribuzione sia direttamente che attraverso appositi INSERITORI (1) o COMBINATORI (2).

I serrafili debbono essere ben nettati prima di esser messi in contatto con la superficie dell'elettrodo che deve

---

(1) Gli INSERITORI sono apparecchi che servone ad inserire sia automaticamente che comandati a mano, gli elementi di una batteria, a misura che se ne determina il bisogno.

(2) I COMBINATORI sono apparecchi che servono a variamente raggruppare gli elementi di una batteria a seconda delle esigenze del circuito di utilizzazione.

anche essere portata allo splendore metallico, ed anche quì — come nelle pile — si sogliono ricoprire i serrafili con uno strato di paraffina per evitare l'attacco di essi, che ordinariamente sono di ottone, dalle esalazioni acide degli accumulatori, che determinerebbe composti, i quali, infiltrandosi al disotto dei contatti, aumenterebbero la resistenza, o impedirebbero addirittura il passaggio della corrente.

I fili, che portano la corrente dagli accumulatori al quadro di distribuzione, debbono essere nudi, perchè gli isolanti sarebbero in breve tempo attaccati e deteriorati dalle esalazioni acide. Si rivestono talvolta con sostanze bituminose per impedirne il deterioramento in seguito alle esalazioni acide.

Ed a tale uopo è ovvio aggiungere che gli accumulatori non si istallano mai nei medesimi locali dove si trovano altre macchine, appunto pei deterioramenti che esse soffrirebbero per le esalazioni acide, specialmente nel periodo di carica.

I fili inoltre debbono essere ben tesi, bene isolati mediante supporti in porcellana, non debbono incrociarsi l'uno con l'altro in modo da far sì che al semplice guardarli si possano seguire in tutto il loro percorso.

Messe a posto le lastre nelle diverse casse, e provveduto alle unioni degli elementi fra di loro e col quadro di distribuzione, si versa in ciascun elemento la soluzione di cui già innanzi abbiamo parlato e che deve coprire tutta la superficie delle lastre superandola anche di un paio di centimetri. La ragione di questo fatto sta in ciò che la porzione delle lastre, che prende parte attiva nel funzionamento degli accumalatori, è quella ricoperta di liquido, l'altra, che eventualmente viene a restar fuori, non prendendo parte al funzionamento, aumenta inutilmente il peso della batteria, riducendo proporzionalmente

la capacità degli elementi a parità di peso. Per tale ragione bisogna ispezionare la batteria anche durante il funzionamento e bisogna restituire la soluzione al primitivo livello quando questo comincia ad abbassarsi.

Ma vi ha una ragione più grave che consiglia a non lasciar scoperta una parte delle lastre e che dipende dal fatto che, in tal caso, la funzione delle lastre si compie diversamente nei vari lori punti. Le variazioni di volume, dipendenti dall'azione chimica, diversamente determinandosi, producono la curvatura e la lacerazione o la rottura delle parti superiori delle intelaiature.

Bisogna metter la massima cura nel versare il liquido negli elementi per non far cadere parte di esso sul pavimento che resterebbe deteriorato, nè lungo le pareti esterne dei recipienti, potendosi ottenere in tal modo una dispersione di corrente attraverso il suolo.

Ciò fatto, la batteria è pronta per esser messa in carica e questa deve durare fino a che non si riconosca, come ora si è detto, che è completamente finita.

Durante la carica, bisogna accertarsi che essa venga distribuita egualmente fra tutti gli elementi, e che non vi siano elementi difettosi, e, ritrovandosene, debbono essere corretti od esclusi dal circuito Per accertarsi di ciò si vanno ispezionando i diversi elementi con un voltometro che arrivi a tre volt.

Bisogna anche accertarsi che non vi siano elementi che si riscaldino più degli altri, perchè questo riscaldamento non può essere dovuto ad altro fatto che a qualche corto circuito esistente fra le lastre successive, e questo può eliminarsi quando deriva da caduta di pasta attiva dalle lastre, ma deve far mettere fuori circuito l'accumulatore quando dipende da incurvamento delle lastre, perchè, in tal caso, bisogna cacciar fuori dal liquido quelle difettose e cercare di renderle piane con mezzi meccanici,

operazione che non sempre riesce specialmente quando la distorsione è arrivata ad un grado eccessivo.

Non ci intratteniamo sugli accoppiamenti degli accumulatori, perchè a loro riguardo non si deve far altro che rileggere quanto si è detto per le pile idroelettriche, come pure non diciamo parola sui dispositivi speciali da adottare per l'aggruppamento, per l'inserzione degli elementi sia nella carica che nella scarica, perchè tutto questo formerà parte della trattazione degli impianti nei quali sono adoperati batterie di accumulatori.

Diciamo solo che sono preferibili, per la carica degli accumulatori, le dinamo eccitate in derivazione, perchè in quelle in serie con l'aumentare della forza controelettromotrice degli accumulatori questa può superare la forza elettromotrice generata dalle dinamo ed allora invece di inviare corrente negli accumulatori ne riceveranno da essi in senso inverso a quella generata, e si otterrà una inversione nella polarità negli elettromagneti.

A tal uopo se il motore che mette in moto la dinamo non è abbastanza potente o non è fornito di un sensibile regolatore di velocità, la macchina si ferma bruscamente e si mette a girare in senso inverso rispetto al primitivo movimento. Se invece ciò non avviene la dinamo, per la invertita polarità produrrà corrente nel medesimo senso di quella che riceve dagli accumulatori e questa può arrivare a tale valore da compromettere l'isolamento della dinamo e la bontà degli accumulatori. A tale uopo, quando, per imprescindibile necessità di impianto, si è costretti a caricare gli accumulatori con una dinamo eccitata in serie, bisogna disporre un apparecchio che porta il nome di DISGIUNTORE AUTOMATICO, che interrompe il circuito non appena la differenza di potenziale ai serrafili della dinamo comincia a discendere al di sotto di quella della batteria di accumulatori.

Bisogna, però, procedere alla carica appena versata la soluzione nelle vasche degli elementi, per impedire la solfatazione delle lastre, ed avere la massima attenzione nel riunire la batteria da caricarsi alla dinamo nei riguardi della polarità.

Anche adoperando per la carica una dinamo in derivazione, bisogna interrompere il circuito della batteria prima che la dinamo cominci a rallentare la sua velocità, e quindi a diminuire proporzionalmente la differenza di potenziale ai suoi poli, per evitare la scarica degli accumulatori sulla dinamo.

Ma cure più rigorose nella istallazione delle batterie debbono mettersi in opera quando queste debbono essere trasportabili, come negli impianti di trazione con accumulatori.

Allora, assieme a tutti i requisiti, a cui finora abbiamo accennato, bisogna provvedere alla impossibilitè della rottura dei recipienti in cui son contenute le lastre e del riversamento del liquido dai recipienti, perchè si deteriorerebbero in breve tempo gli organi elettrici e meccanici delle vetture. Deve inoltre adottarsi una forma di lastre che impedisca la caduta della pasta attiva in seguito agli urti, alle scosse ed alle trepidazioni, che non possono scompagnarsi dal movimento; e deve finalmente rendersi minimo il peso della batteria, perchè essa non rappresenta che un PESO MORTO che aumenta enormemente la quantità di energia che si deve spendere per l'avanzamento delle vetture.

In queste batterie ai recipienti di vetro sono sostituiti altri di ebanite o di celluloide, che non presentano facilità di rottura, e questi si fanno ermeticamente chiusi per impedire, il più che sia possibile, la uscita del liquido, uscita che talvolta è resa più difficile adoperando una sostanza gelatinosa che si impregna della soluzione attiva

e rende l'accumulatore quasi una pila a secco, aumentando però di molto la resistenza interna.

Nell'impianto di queste batterie trasportabili bisogna, quindi, curare che tutte queste particolarità siano rispettate, insieme alle altre che innanzi abbiamo mentovate per le batterie ordinarie.

Nei riguardi della carica, queste batterie appartengono alla categoria denominata a CARICA RAPIDA, perchè esse debbono poter immagazzinare in breve tempo — nelle fermate — una gran quantità di energia, da restituire poi nei momenti di movimento.

Anche per esse bisogna avere le medesime cure ed usare la stessa sorveglianza durante la carica come per le batterie stabili.

Ma gli accumulatori debbono non solo essere sorvegliati attentamente durante la carica ma anche — e sopra tutto — durante la scarica. In essa si deve esser certi che non si richieda una intensità superiore a quella per cui sono stati calcolati, per non incorrere nell'inconveniente, a cui già abbiamo accennato, dell'incurvarsi delle lastre con caduta della pasta attiva. Per esser certi di questo fatto sul circuito esterno vi è un apposito DISGIUNTORE, che interrompe il circuito appena la intensità supera il valore normale. Esso nella forma più semplice è rappresentato da una elettrocalamita, che, quando è attraversata da una corrente superiore alla normale, attira un'ancora che fa scattare una molla la quale apre il circuito di utilizzazione.

Ma nella scarica bisogna anche badare a che la differenza di potenziale ai poli della batteria si mantenga costante, ed allora, a misura che la differenza di potenziale dei singoli elementi va diminuendo, debbono inserirsi in circuito altri elementi che riportano il potenziale al valore normale ed a ciò si arriva sia mediante inserzione

degli elementi manovrando volantini che comandano apposite leve, che automaticamente.

Quando però la differenza di potenziale ai poli degli elementi è discesa ad 1,85 volt bisogna interrompere la scarica a ricaricare la batteria.

Questa non deve rimanere per lungo tempo scarica perchè altrimenti la soluzione di acido solforico solfatizzerebbe profondamente le lastre e costringerebbe ad adoperare mezzi meccanici per asportare il profondo strato di solfato che impedisce la regolare carica e scarica, come già abbiamo accennato.

È inutile aggiungere che gli accumulatori possono accoppiarsi in un modo nella carica ed in un altro nella scarica, ed è appunto sotto questo punto di vista che noi li abbiamo considerati come trasformatori a corrente continua, perchè essi, per tale ragione, possono far variare gli elementi costitutivi della corrente.

RIASSUNTO

I locali nei quali debbono istallarsi gli accumulatori debbono essere asciutti, bene aerati, provvisti di estrattori per espellere nell' atmosfera l' aria viziata, e debbono esser privi di materie accensibili.— Gli elementi di accumulatori sono poggiati su traverse di legno impregnate di sostanze idrofughe ed isolanti, mediante l' intermezzo di isolatori di porcellana, e la traverse sono anche esse isolate dal suolo mediante isolatori di porcellana. — È sconsigliabile disporre gli accumulatori in diverse file sovrapposte. — Intorno alle batterie deve essere di-

sposto un piano di manovra perfettamente isolato dal suolo. — Il liquido per gli accumulatori si prepara in ampie e pulite vasche in modo da avere una perfetta identità della soluzione per tutti gli elementi della batteria. — Le lastre omonime di un medesimo elemento si saldano autogenamente dopo aver ben pulite le parti da congiungere. — Le lastre debbono essere sollevate dal fondo, e debbono essere separate l'una dall'altra mediante bacchette isolanti — Il liquido deve superare di circa due centimetri il livello superiore delle lastre. — I fili, che congiungono gli elementi al quadro e tra di loro, debbono essere nudi e sorretti da isolatori di porcellana e non debbono mai incrociarsi. — Bisogna aver cura che nella carica e nella scarica gli elementi si comportino egualmente, eliminando dal circuito quelli che presentano anomalie rispetto agli altri. — Per la carica degli accumulatori sono preferibili le dinamo in derivazione. — Nelle batterie trasportabili bisogna adoperare recipienti di ebanite e provvedere a che il liquido col movimento non venga a riversarsi fuori dei recipienti. — ccumulatori a carica rapida. — Intensità di scarica e disgiuntori automatici. — Solfatizzazione delle lastre.

CAPITOLO V.

Collaudo degli accumulatori — Rendimento

Il collaudo degli accumulatori si deve fare seguendone accuratamente il periodo di carica e di scarica non solo, ma esaminando, quello che più interessa, la facilità che gli elementi presentano a scaricarsi nel periodo di inattività, essendo — a parità di condizioni — da preferirsi quell' accumulatore che conserva più a lungo inalterata la carica ricevuta.

Nel periodo di carica, bisogna esaminare se essa avviene uniformemente in tutti gli elementi, se le lastre si conservano inalterate come forma rimanendo la corrente nei limiti imposti dai fornitori, e se non si ha eccessivo riscaldamento.

Nella scarica, bisogna non solo vedere come essa avviene mantenendosi costante la erogazione, ma determinare anche il modo come l'elemento si comporta in seguito a brusche variazioni nella richiesta della corrente, sempre però nei limiti della corrente normalmente ammessa per la batteria che si considera.

La ragione di questo esame deriva dal fatto che il brusco variare della intensità produce una diminuzione nella capacità dell' elemento, e questa non deve discendere al di sotto del limite prestabilito nel commettere gli elementi che si stanno esaminando.

Le variazioni di capacità non dipendono soltanto dalle brusche variazioni di intensità che si richiedono nel circuito esterno, ma anche dalle variazioni lente della intensità. Un elemento, che a piccola intensità presenta una capacità piuttosto alta, vede questa diminuire molto più rapidamente che non aumenta la intensità erogata. Un

esempio ci vien dato dalla seguente tabella nella quale si vede aumentare la capacità dell' elemento a misura che diminuisce la corrente erogata.

Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3	
Corrente massima 8 Ampère		Corrente massima 40 Ampère		Corrente massima 2304 Ampère	
Corrente di scarica	Capacità in Ampèr ore	Corrente di scarica	Capacità in Ampèr-ore	Corrente di scarica	Capacità in Ampèr-ore
8	24	40	120	2304	6912
6	25	32	128	1824	7296
5	27	27	135	1536	7680
4,5	28	23,5	141	1332	7990
4	30	21	146	1186	8300
3,5	31,8	18	151	1077	8613
3	33	17,5	158	996	8948
		16	162	928	9280

In ultimo bisogna determinare il rendimento dell' accumulatore; ed anche quì alcuni considerano il rendimento in *capacità* (1) altri quello in energia. Noi però considereremo solo quest' ultimo che è il vero rendimento che industrialmente si deve considerare.

Il rendimento in energia non è altro che il rapporto

(1) Il rendimento in capacità è il rapporto fra il numero di ampère ora scaricati dall'elemento, ed il numero di ampère-ora che gli si sono forniti durante la carica.

che passa fra la energia che l'accumulatore può fornire nella scarica e quella che è stata in esso immagazzinata nella carica.

Se quindi un accumulatore si scarica con la differenza di potenziale e erogando l' intensità i, ed è stato invece caricato con una differenza di potenziale E ed una intensità I presenta un rendimento

$$\eta = \frac{ei}{EI}$$

Questo rendimento è variabile secondo i tipi di accumulatori ma non può scendere al di sotto del 75 °/₀ dovendosi in tal caso ritenere inaccettabile l' accumulatoro, ed arriva in alcuni casi fino al 87 °/₀ e più.

Naturalmente in questa formola, tanto nella carica che nella scarica, bisogna tener conto delle variazioni di intensità e di differenza di potenziale ed allora il rendimento viene espresso dalla formola più esatta:

$$\eta = \frac{e_1\, i_1 + e_2\, i_2 + e_3\, i_3 + \ldots}{E_1\, I_1 + E_2\, I_2 + E_3\, I_3 + \ldots} = \frac{\Sigma\, e\, i}{\Sigma\, E\, I}$$

in cui le osservazioni debbono essere fatte all' ampèrometro ed al voltometro ad intervalli determinati, per esempio di cinque in cinque minuti.

Il rendimento in quantità di elettricità è superiore al rendimento in energia, perchè suppone che si mantenga costante la differenza di potenziale, cosa che non avviene. Esso oscilla intorno al 95 °/₀.

La durata delle lastre influisce molto sulla bontà degli accumulatori, su di essa però si hanno dei dati ancora molto incerti.

Le lastre negative arrivano ordinariamente ai 10 anni di vita, le positive durano sempre di meno: un po' di

più durano quelle appartenenti al tipo Plantè, un po' meno quelle al tipo Faure, che dopo tre o quattro anni sono del tutto inservibili.

Durano sempre meno le lastre degli accumulatori a carica rapida per i regimi sforzati a cui sono sottomesse e che determinano in breve tempo l' incurvamento e la caduta della pasta attiva per la rapidità con la quale si determinano le azioni chimiche.

RIASSUNTO

Il collaudo degli accumulatori si esegue prendendo ad esame le condizioni di carica e scarica.— Il rendimento degli accumulatori può essere considerato sia in rapporto alla capacità che alla energia: il primo è superiore al secondo, perchè quello non considera le variazioni di potenziale che avvengono nella carica e nella scarica.

CAPITOLO VI.

Calcolo di una batteria di accumulatori

Supponiamo di dover calcolare una batteria di accumulatori che debba fornire per 10 ore una corrente di 50 ampère, sotto la differenza di potenziale di 110 volt.

Il numero degli elementi da impiantarsi si determina tenendo conto della differenza di potenziale minima che presentano gli elementi, cioè 1,85 volt. Si ha quindi

$$\frac{110}{1,85} = 60 \text{ elementi}$$

Non tutti gli elementi però debbono essere inseriti in circuito nel momento in cui comincia a funzionare la batteria, perchè dando ciascun elemento la differenza di potenziale di circa 2 volt bastano

$$\frac{110}{2} = 55 \text{ elementi}$$

Cinque elementi debbono quindi essere accoppiati ad un inseritore, sia a mano che automatico, che li includa in circuito a misura che, abbassandosi la differenza di potenziale durante la scarica, se ne abbia bisogno per riportar questa al valore normale di 110 volt.

In pratica, scelto il tipo di accumulatore necessario per la capacità richiesta, si dispongono 28 elementi in serie per 50 volt, 36 per 65 volt, 55 per 100 volt, 60 per 110 volt, 68 per 125 volt, 71 per 130 volt, 82 per 150 volt e così via. Nel caso in esame la capacità di ciascun elemento nella scarica deve essere di:

$$50 \text{ ampère} \times 10 \text{ ore} = 500 \text{ ampère-ore}$$

In base a questa capacità si trova nelle tabelle dei fornitori il tipo di accumulatore di cui si ha bisogno.

Supponiamo, per esempio, di adoperare un accumulatore che presenti la capacità specifica di 10 ampère-ora ossia che possa erogare 10 ampère-ora per chilogramma di piombo, ciascun elemento deve avere un peso di piombo eguale a $\frac{500}{10} = 50$ Kg. Il tipo scelto è perfettamente adattabile perchè, dovendosi erogare 50 ampère, si ha una erogazione di un ampère per Kg. di piombo, cosa perfettamente concordante con le condizioni a cui innanzi abbiamo accennato.

Ammettendo un rendimento in capacità del 90 °/₀ bisogna fornire all' elemento.

$$\frac{500 \times 100}{90} = 555 \text{ Ampère-ora}$$

e mantenendo anche nella carica la corrente di un Ampère per Kg. di piombo si ha la durata della carica.

$$\frac{555}{50} = 11 \text{ ore e } 6'$$

La dinamo che deve caricare la batteria, dovendo fornire alla fine della carica intorno a 2,7 volt per elemento deve presentare una differenza di potenziale ai suoi poli

$$e = 60 \times 2{,}7 = 162 \text{ volt}$$

con una corrente di 50 Ampère.

Si può caricare la batteria anche con una dinamo che presenti ai suoi poli una minore differenza di potenziale, disponendo gli accumulatori in due o più serie riunite in parallelo, ma, però, in tal caso, la intensità, che deve erogare la dinamo; deve essere eguale a quella necessaria per la carica della batteria come se fosse riunita tutta in serie, moltiplicata per il numero delle serie riunite in parallelo.

Così per esempio se la batteria precedente si volesse caricare con una dinamo che presentasse 81 volt di differenza di potenziale, essa dovrebbe dividersi in due serie di 30 elementi ciascuna, accoppiate in parallelo, e la dinamo dovrebbe erogare $50 \times 2 = 100$ ampère.

Questo fatto, che la dinamo deve fornire una differenza di potenziale superiore a quella che deve essere adoperato nel regolare funzionamento, complica le cose quando si voglia adoperare la batteria in parallelo con la dinamo

per la distribuzione dell' energia. In tal caso o si deve adoperare una dinamo che fornisca tensione gradatamente crescente quale è quella necessaria alla carica degli accumulatori, oppure deve adoperarsi una dinamo ausiliaria che porta il nome di SURVOLTRICE e che serve a fornire la differenza di potenziale necessaria per poter raggiungere quel valore di cui si ha bisogno nel momento in cui sta per finire la carica degli elementi.

Il rendimento in energia che presenta la batteria che ora abbiamo calcolato si ottiene molto facilmente supponendo costante la intensità di carica. Nella carica si spende un' energia data da

$$162 \text{ volt} \times 50 \text{ ampère} \times 11{,}1 \text{ ora} = 89{,}91 \text{ Kw-osa}$$

mentre nella scarica la batteria fornisce

$$110 \text{ volt} \times \text{ampère} \times 10 \text{ ore} = 55 \text{ Kw-ora}$$

con un rendimento

$$\eta = \frac{55}{89{,}91} = 61\ \%$$

RIASSUNTO

Esempio numerico del calcolo di una batteria.

II.

Trasformatori rotanti

Capitolo I.

Generalità sui trasformatori rotanti

Le dinamo elettriche, sia a corrente continua che a corrente alternata, sono macchine invertibili; esse messe, in moto spendendo energia meccanica, producono energia elettrica, ricevendo invece energia elettrica la trasformano in energia meccanica.

Questa proprietà, scoperta per caso dall'elettricista Fontaine, all'esposizione di Vienna del 1874, noi ricordiamo quì solo come accenno per spiegare il principio sul quale sono fondati i trasformatori rotanti, riservandoci di riparlarne quando studieremo i motori elettrici.

Volendo trasformare la corrente continua in un' altra di diverso potenziale e quindi anche di diversa intensità non dobbiamo fare altro che accoppiare assieme due dinamo una che funzioni da motore, l'altra da generatore.

La corrente, che si vuol trasformare, si invia nella dinamo che funziona da motore, e questo, muovendosi, determina il movimento anche della seconda. Questa deve avere i suoi avvolgimenti e le sue dimensioni calcolate in modo da produrre il potenziale che si desidera per la trasformazione che si vuole raggiungere.

È chiaro, che, potendosi calcolare la seconda dinamo per un potenziale qualsiasi, questo TRASFORMARORE ROTANTE, detto anche trasformatore con gruppo MOTORE-DINAMO, può essere tanto ASCENDENTE se la differenza di potenziale viene a crescere, quanto DISCENDENTE se viene a diminuire.

Anche, quì, la intensità deve variare in modo inver-

samente proporzionale alla differenza di potenziale, perchè se avvenisse diversamente si andrebbe contro al principio della conservazione della energia.

Sulle norme da seguire per l'impianto, per il collaudo, per il rendimento e per il funzionamento non si deve dir nulla di nuovo, bastando, per la dinamo, quello che abbiamo detto parlando dei generatori di corrente e pel motore quello che diremo quando parleremo di essi.

Il rendimento industriale di questi apparecchi è anche esso abbastanza elevato mantenendosi superiore all' 80 $^{o}/_{o}$, quando, naturalmente, il gruppo funziona a pieno carico.

Anzi a questo riguardo è buono notare che tutto quello che abbiamo detto in occasione dei rendimenti delle diverse macchine si riferisce sempre al funzionamento a pieno carico, perchè esso diminuisce sensibilmente col diminuire di questo, come vedremo ampiamente trattando delle istallazioni delle officine di produzione della energia elettrica, cosa, d'altronde, comune a tutte le macchine generatrici ed operatrici, di qualunque sistema ed a qualunque principio esse appartengano.

In questi trasformatori rotanti si può ottenere però una semplificazione che determina anche una minore occupazione di spazio ed un minor peso del macchinario, adoperando un solo campo magnetico di eccitazione, tanto per il motore quanto per la dinamo, calettando le due armature sul medesimo asse e facendole muovere in mezzo alle medesime espansioni polari.

Anzi la semplificazione può anoora diventare maggiore disponendo i due avvolgimenti sul medesimo nucleo di armatura, e collocando i due collettori dalle due parti dell' asse.

Con queste due disposizioni però si viene ad abbassare sensibilmente il rendimento del trasformatore, perchè le macchine non funzionano nelle migliori condizioni, spe-

cialmente nella seconda in cui le due reazioni di armatura, quella del motore e l'altra della dinamo finiscono col rendere irregolare il funzionamento dell'uno e dell'altra.

Bisogna porre massima attenzinne nell'isolamento dei due circuiti, quello a basso e quello ad alta tensione quando essi si trovano avvolti sul medesimo nucleo.

Quando si adopera quest'ultima disposizione, il rendimento complessivo del trasformatore scende al 75 $^0/_0$ e qualche volta anche al 70 $^0/_0$, ed è consigliabile soltanto quando si ha bisogno di economia di spazio e quando il prezzo di produzione della energia, per condizioni speciali dell'officina, risulti eccessivamente vantaggioso, altrimenti conviene impiantare due macchine distinte che presentano un rendimento molto più elevato ed un andamento certo più regolare.

Come si vede a meno che non si vogliano adottare gli accumulatori come trasformatori di corrente continua, sia abbassandone che innalzandone la differenza di potenziale, ci è bisogno di organi in movimento, e quindi di una continua sorveglianza, mentre, come vedremo nel capitolo successivo, pei trasformatori a corrente alternata non vi è questo bisogno trattandosi di macchine che non presentano alcuna parte in moto.

Vedremo, però, nei trasformatori a corrente alternata, che i trasformatori rotanti servono piuttosto ed hanno più largo impiego per trasformare la corrente alternata in continua o viceversa, mentre come trasformatori a corrente continua non trovano che pochissima applicazione.

RIASSUNTO

I trasformatori rotanti non sono altro che l'accoppiamento di un motore elettrico alimento dalla corrente da trasformare, ad una dinamo che fornisce la corrente trasformata. — Le due macchine possono essere distinte, possono presentare i due avvolgimenti indotti su due nuclei che si muovono nel medesimo campo inducente e possono finalmente presentare i due circuiti indotti avvolti anche sul medesimo nucleo. — Il rendimento di questi apparecchi non è molto elevato, ed essi non trovano grande applicazione in pratica.

PARTE SETTIMA

TRASFORMATORI A CORRENTE ALTERNATA

I.

Trasformatori degli elementi della corrente

CAPITOLO I.

Generalità sui trasformatori a corrente alternata

Se in un circuito conduttivo si invia una corrente elettrica variabile con legge di continuità, si genera un campo elettromagnetico, variabile anch' esso. In un altro circuito chiuso che si trova in questo campo si genera una corrente indotta, che varia, anche essa, con legge di continuità. I due circuiti si chiamano CIRCUITO INDUCENTE e CIRCUITO INDOTTO o anche più semplicemente CIRCUITO PRIMARIO e CIRCUITO SECONDARIO.

Su questo principio della induzione, provocata dalle correnti variabili nei circuiti conduttivi, situati nel loro campo di azione, è poggiato il funzionamento dei trasformatori per corrente alternata, nei quali, provocandosi la corrente indotta senza bisogno di organi in movimento e senza che avvengano reazioni chimiche, come nei trasformatori a corrente continua e negli accumulatori, si elimina la necessità della continua sorveglianza durante il funzionamento, ottenendosi grandissima economia nell' esercizio.

Nel fenomeno della induzione, che, così, si manifesta, deve provvedersi ad ottenere una variazione nel valore della differenza di potenziale di utilizzazione e questo intento si raggiunge impiegando un numero diverso di spire nei due circuiti e propriamente il rapporto fra la differenza di potenziale impressa ai poli del circuito primario e quella disponibile ai poli del secondario è eguale al rapporto del numero delle spire adoperate nei due circuiti. Per tal fatto, indicando con e ed n la differenza di potenziale impressa e il numero delle spire del circuito primario e con E ed N i valori corrispondenti nel circuito secondario si ha:

$$\frac{e}{E} = \frac{n}{N}$$

Non basta, però, variare solo il numero delle spire, ma anche il diametro del filo che si adopera, per non ottenere un riscaldamento eccessivo, che rappresenterebbe non solo una perdita rilevante di energia, ma anche un pericolo di deterioramento dell'apparecchio ed un pericolo continuato di incendio.

Il circuito di poche spire, ai cui poli esiste una piccola differenza di potenizale ma che è attraversato invece da una forte intensità, deve essere costituito da spirali di filo grosso, mentre l'altro circuito, ai cui poli esiste una forte differenza di potenziale ed è attraversato da piccola intensità deve essere costituito da spirali di filo sottile.

I due circuiti PRIMARIO e SECONDARIO si scambiano a seconda che il trasformatore è adoperato come ASCENDENTE o come DISCENDENTE: in quello è circuito primario quello di poche spire di filo grosso; in questo, quello di molte spire di filo sottile e viceversa per il circuito secondario.

Il primo tipo di trasformatore a corrente alternata, conosciuto sotto il nome di GENERATORE SECONDARIO, apparve al-

l'esposizione di Torino del 1878 per opera di Goulard e Gibbs. Esso era un trasformatore a CIRCUITO MAGNETICO APERTO, perchè le linee di induzione, per chiudersi, avevano bisogno di attraversare l'aria. Un nucleo cilindrico di ferro, costituito da un fascio di fili, era circondato da due avvolgimenti uno di un gran numero di spire di filo di piccolo diametro, l'altro di poche spire di filo di grosso diametro.

Mandando una corrente alternata nel filo grosso e di poche spire, questa produce, attraverso il secondo circuito, un campo magnetico variabile alternativamente con la medesima legge della corrente agente. Questo campo magnetico variabile provoca un flusso variabile continuamente attraverso la seconda spirale, che, per conseguenza, diventava sede di una forza elettromotrice indotta, variabile anche essa secondo la medesima legge, ma che è, proporzionalmente al numero delle spire, aumentata come valore, mentre proporzionalmente viene diminuito il valore della intensità della corrente.

Per effetto della autoinduzione dei due circuiti, autoinduzione che assurge a valori abbastanza elevati per la presenza del nucleo di ferro, le intensità, le forze elettromotrici ed il flusso non sono in concordanza di fase fra di loro, ma sono gli uni rispetto agli altri spostati e le due intensità si trovano quasi in opposizione, ossia con un ritardo di fase di circa 180° cioè di quasi mezzo periodo l'una rispetto all'altra.

Ma questo tipo di trasformatore, a CIRCUITO MAGNETICO APERTO presenta un basso rendimento. Esso consuma una quantità di energia abbastanza forte a circuito esterno aperto, e dà una percentuale di energia trasformata a circuito caricato abbastanza esigua rispetto alla energia consumata, per la resistenza enorme opposta dall'aria al passaggio delle linee di induzione, resistenza che fa

sì che si perda una quantità rilevante di energia nelle variazioni di flusso che si determinano ad ogni istante.

Gli sforzi dei costruttori e dei tecnici si rivolsero ad eliminare entrambi gli inconvenienti, dannosissimi, che rendevano difficile l'applicazione nella industria di questi apparecchi, che dovevano mutar completamente l'indirizzo degli impianti moderni, e dovevano rendere possibili quegli ardimentosi trasporti di energia a distanza, che permettono di utilizzare la energia immagazzinata nei corsi di acqua che solcano il nostro pianeta, e che, altrimenti, dai monti ai mari, la disperderebbero inutilmente senza nessun benefizio dei paesi attraverso cui scorrono.

La energia perduta nei trasformatori è spesa per creare il campo magnetico nei dintorni di essi e per produrne le variazioni. Essa, nei tipi a circuito magnetico aperto, non viene restituita tutta ritrasformata in energia elettrica, ma buona parte viene spesa a vincere la resistenza del mezzo. Bisognava, quindi, cercare un mezzo più elastico, il quale permettesse che la energia immagazzinata in un mezzo periodo venisse restituita nel mezzo periodo successivo per immagazzinarla di nuovo e di nuovo restituirla, e così si arrivò alla concezione dei trasformatori a circuito magnetico chiuso in cui le linee di induzione si chiudono completamente attraverso il ferro, che, essendo permeabilissimo ad esse, da una parte richiede una minore energia per la creazione del campo magnetico, e dall'altra la restituisce quasi tutta allorchè il campo magnetico sparisce.

RIASSUNTO

I trasformatori a corrente alternata hanno due circuiti detti primario e secondario, avvolti su nucleo di ferro: nel primo si invia la corrente da tra-

sformare, dal secondo si raccoglie la corrente trasformata per induzione elettro-magnetica. I trasformatori sono ascendenti o discendenti a seconda che elevano o abbassano il potenziale. — I trasformatori possono essere a circuito magnetico chiuso o a circuito magnetico aperto: questi ultimi, per il basso rendimento che presentano, sono completamente banditi dall' industria.

CAPITOLO II.

Varie specie di trasformatori

Dopo del trasformatore Gaulard e Gibbs tutti quelli che si sono succeduti sono a circuito magnetico chiuso e si distinguono semplicemente per la forma dei nuclei e per la disposizione degli avvolgimenti, mutata al solo scopo di ottenere una facilitazione maggiore nella montatura e nelle riparazioni che si debbono eseguire negli avvolgimenti.

Il primo tipo di trasformatore a circuito magnetico chiuso è quello Zipernowsky, Dèry e Blatty costruito dalla casa Ganz di Budapest in cui il nucleo è formato da un toro di fili di ferro di piccolo diametro su cui sono avvolte le spire tanto del circuito primario quanto di quello secondario (vedi fig. 27 e 28 a pag. 287 e 288).

La suddivisione del nucleo in fili od in lamiere, adottata in altri tipi, è dovuta al fatto che, trattandosi di un apparecchio a correnti alternate, queste determinerebbero in esso quelle correnti parassite o di Foucault che abbiam visto produrre un abbassamento sensibile nel rendimento degli apparecchi, perchè rappresentano la trasformazione di una porzione di energia elettrica in ener-

gia calorifera, che non può essere in alcun modo utilizzata.

Nel trasformatore, costruito dalla casa Ganz, come anche in altri che studieremo in seguito, la spirale secondaria può essere suddivisa in diverse sezioni che terminano a speciali serrafili in modo che si può utilizzare una porzione soltanto della differenza di potenziale libera ai poli del secondario o tutta a seconda che si stabilisce il circuito esterno agli estremi di una porzione o di tutto

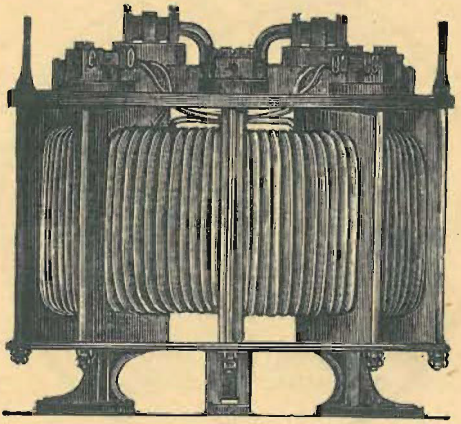


Figura 27.ª

il secondario: ed in fatti mentre vi sono due serrafili P_1 e P_2 pel circuito primario, per il secondario se ne vedono tre cioè S_0, S_1 ed S_2 (fig. 28 a pag. 288).

Questa forma del nucleo, adottata dalla casa Ganz, è incomoda per l'avvolgimento e per le riparazioni, per le quali, quando si determina un guasto in un determinato punto, bisogna svolgere tutto il circuito fino ad individuare il guasto e poi rifare completamente l'avvolgimento.

Altre disposizioni eliminano completamente questo in-

conveniente. Così in un' altra disposizione adottata dalla medesima casa Ganz il nucleo ha forma rettangolare ed è formato in due parti a forma di *E* che si stringono mediante bulloni dopo che si è provveduto agli avvolgimenti. Questi sono preparati a parte su rocchetti di legno o di sostanza isolante, e vengono infilati nelle bracce verticali dell' *E* mettendo il primario sulla branca centrale ed il secondario sulle due branche laterali. In

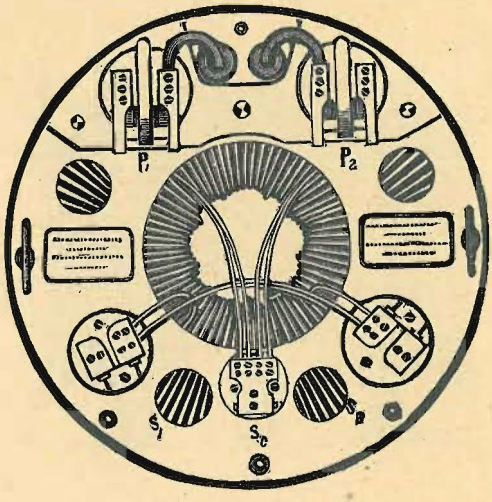


Figura 28.ª

questo tipo si ha un CIRCUITO MAGNETICO DOPPIO perchè le linee di induzione, generate dalla magnetizzazione, si biforcano ed una metà attraversano la branca di sinistra e l' altra quella di destra.

Con tale ripiego si può, a parità di condizioni nel resto, adoperare una sezione per il ferro del nucleo metà di quella che si adopererebbe nel caso che il circuito magnetico fosse unico e che non ci fosse questa biforcazione delle linee di induzione.

Il nucleo di questo tipo di trasformatore è fatto con lamine di ferro di piccolissimo spessore isolate l'una dall' altra sia mediante carta paraffinata, che mediante un leggero strato di ossido per evitare il determinarsi di correnti parassite.

È preferibile, però, fare entrambi gli avvolgimenti, primario e secondario, sulla branca centrale, perchè in tal modo si ha la certezza che il flusso, determinato dalla corrente primaria, attraversa tutto il circuito secondario e non si riscontra nessuna dispersione.

Un altro tipo di trasformatore, molto adoperato, presenta il nucleo con la medesima sezione complessiva ma ottenuta costruttoriamente in modo più semplice. I due pezzi sono una a forma di *E* e l'altro di semplice spranga rettilinea che si poggia e si stringe sulla precedente dopo di aver infilati gli avvolgimenti sulle rispettive branche.

Molto adoperato è anche un trasformatore a nucleo di forma rettangolare, anche essa col nucleo in due parti, una ad *u* e l' altra rettilinea: sulle due branche verticali o si avvolgono i due circuiti o uno si avvolge su una branca e l' altro sull' altra.

Nel trasformatore De Ferranti il nucleo è costituito da un fascio di lamiere di ferro; gli avvolgimenti si eseguono sulla parte centrale, le parti laterali vengono ripiegate da una parte e dall' altra in modo da formare un otto molto schiacciato e da presentare anche due vie al propagarsi delle linee di induzione. In questo tipo, il circuito secondario non occupa tutto lo spazio occupato dal primario, e, per tale ragione, si hanno sensibili dispersioni di flusso che influiscono enormemente sul RAPPORTO DI TRASFORMAZIONE.

RIASSUNTO

Trasformatori a cicuito magnetico chiuso. — Trasformatore Ganz. — I nuclei dei trasformatori debbono essere suddivisi per eliminare le correnti di Foucault. — La spirale secondaria dei trasformatori può essere suddivisa in varie sezioni per permettere la utilizzazione di tutto o di parte della differenza di potenziale libera ai poli del secondario. — Trasformatori a nucleo rettangolare. — Trasformatori a nuclei a tre branche verticali. — Trasformatore de Ferranti. — Rapporto di trasformazione.

CAPITOLO III.

Funzionamento dei trasformatori

Il funzionamento dei trasformatori dipende dal modo come essi sono costruiti e dal modo come vengono inseriti in circuito.

Essi possono essere inseriti sia in serie che in derivazione sul circuito di trasporto della energia elettrica.

La disposizione in serie, però, non si adotta che raramente ed in casi specialissimi, perchè, in tal caso, i trasformatori non si regolano automaticamente come fanno quando sono inseriti in derivazione, e dànno luogo a complicate disposizioni per raggiungere una regolazione che non risulta nemmeno perfetta, tranne il caso in cui nel circuito secondario gli apparecchi sono riuniti in serie, come avviene negli impianti, dalla casa Westinghouse, costruiti in America.

In questa disposizione, però, quando il secondario di

un trasformatore non eroga corrente, invece di interrompere il circuito si deve chiudere il secondario su un rocchetto di reazione opportunamente calcolato, perchè altrimenti l'induzione e la forza controelettromotrice del primario aumenterebbero immensamente, tanto che, per mantenere costante la intensità nel circuito di alimentazione degli altri trasformatori, bisognerebbe aumentare la differenza di potenziale data dall'alternatore ed allora il trasformatore a circuito secondario aperto finirebbe col riscaldarsi troppo e col bruciare.

La disposizione, generalmente adottata, è quella in derivazione, nella quale i trasformatori si regolano automaticamente, specie quando sono a circuito magnetico chiuso.

Essi, a circuito secondario aperto, assorbono piccolissima intensità e consumano, quindi, una piccola quantità di energia, che aumenta proporzionalmente con l'aumentare della intensità erogata dal circuito secondario.

Questo fatto dipende dalla reazione del nucleo di ferro. Quando il circuito secondario è aperto, le variazioni del campo magnetico inducono nelle spirali primarie, che sono fortemente induttive, correnti di senso opposto e quasi eguali in grandezza a quelle che in esse circolano, e quindi annullano quasi completamente in esse il valore della corrente agente. Quando, invece, comincia a funzionare il circuito secondario, entra in gioco la mutua induzione, la quale fa sì che la corrente indotta nel primario abbia il medesimo senso di quella che vi circola rinforzandola in valore.

Tale fenomeno, che dipende essenzialmente dalle leggi della induzione, si può verificare, in modo semplicissimo, sperimentalmente. Inserendo, infatti, una lampada, opportunamente scelta, nel primario, in modo che a circuito secondario aperto essa si mostri appena rosseggiante, la si vedrà, man mano, aumentare di splendore a misura

che si aumenta la erogazione della corrente nel circuito secondario.

Il consumo di energia dei trasformatori industriali, quando il secondario non lavora, deve essere piccolissimo: non deve superare l'uno o al massimo il due per cento, perchè, altrimenti, si otterrebbe un rendimento dell'impianto bassissimo, perchè si consumerebbe una quantità non disprezzabile di energia anche durante gl'istanti in cui l'impianto resta inattivo per la parte corrispondente al trasformatore che si considera.

La forza elettromotrice, ai poli del secondario, dipendendo unicamente dal numero delle spire dei due circuiti, si mantiene costante se perdura costante quella ai poli del primario.

RIASSUNTO

I trasformatori si inseriscono ordinariamente in derivazione sulle linee di distribuzione. — I trasformatori in derivazione, a circuito magnetico chiuso, si regolano automaticamente e consumano, a secondario aperto, una piccolissima quantità di energia.

CAPITOLO IV.

Difetti — Collaudo — Rendimento dei trasformatori a corrente alternata

Unico e gravissimo è il difetto che possono presentare i trasformatori a corrente alternata: l'imperfetto isolamento. Esso può determinarsi sia fra spire del medesimo circuito, che fra spire del primario e spire del seconda-

rio, che, finalmente, fra spire di uno qualsiasi dei circuiti ed il nucleo.

Più grave è il difetto di isolamento fra spire dell' un circuito e quelle dell' altro, perchè i fili del circuito a basso potenziale, venendo in contatto con quelli attraversati dalla corrente ad alto potenziale, assumono il potenziale elevato di questi ultimi e rovinano tutti gli apparecchi, che si trovano installati sul circuito a basso potenziale e che per questo sono calcolati.

Bisogna mettere, quindi, la massima cura nel provare l' isolamento dei diversi circuiti sia isolamente che fra di loro, per impedire disastri gravissimi nel funzionamento. Ordinariamente, per essere sicuri che il trasformatore non venga ridotto in cattive condizioni di isolamento per un improvviso aumento di potenziale, lo si prova con una differenza di potenziale dieci volte maggiore di quella che deve sopportare nel normale funzionamento.

La ragione di questa prova sforzata sta nel fatto che il potere isolante dei corpi coibenti diminuisce con l' elevarsi della differenza di potenziale a cui essi sono sottoposti — cosa che abbiamo già ampiamente esaminata e discussa nel primo volume parlando del potere isolante — e quindi un trasformatore, che si presenta in buone condizioni di isolamento al potenziale normale, può benissimo essere ridotto in pessime condizioni appena questo si elevi.

Bisogna ancora esser molto accorti nella verifica del diametro dei fili dei due circuiti, affinchè in essi non si determini un eccessivo riscaldamento per insufficienza nella sezione, e, per tale scopo, si cerca di non superare mai uno o due ampère per millimetro quadrato trattandosi di conduttori immobili e avvolti in diversi strati sovrapposti.

Appena nel funzionamento si riscontra un elevamento

di temperatura al di là degli 80° senza che vi sia stato richiesta eccessiva di corrente si deve mettere fuori circuito il trasformatore, perchè qualche guasto nell' isolamento deve essersi determinato, e potrebbero deteriorarsi ancora più le condizioni se non vi si provvedesse istantaneamente.

Per i trasformatori, che debbono sopportare elevatissimi potenziali, si sogliano immergere i circuiti in un bagno di olio o di petrolio per aumentarne l'isolamento.

Il collaudo dei trasformatori si fa misurando il rendimento, verificando il modo di funzionamento e le condizioni di isolamento.

La misura del rendimento dei trasformatori si fa determinando, da una parte, la energia che si fornisce al circuito primario e dalla altra quella che restituisce al secondario. Però, sia nell'una che nell'altra misura, bisogna tener conto della differenza di fase esistente fra l'intensità che circola nel circuito che si considera e la differenza di potenziale che ai serrafili di esso si mantiene. Il rendimento non deve essere mai inferiore al 95 0[0; esso, nei buoni trasformatori, qualche volta, supera anche il 97 0[0.

L' impianto dei trasformatori deve essere fatto in modo che essi siano perfettamente isolati dal suolo in modo da evitarsi disgrazie a coloro che si trovano in vicinanza di essi.

Sulle particolarità di questi impianti, a seconda del posto dove i trasformatori sono stabiliti per effetto delle necessità della distribuzione, ritorneremo ampiamente nella parte in cui tratteremo degli impianti.

RIASSUNTO

L'unico difetto che possono presentare i trasformatori riguarda l' isolamento. — I trasformatori nei rapporti dell' isolamento si provano sotto una differenza di potenziale decupla di quella di funzionamento per evitare possibili difetti in caso di una sopraelevazione brusca di potenziale. — Il diametro dei fili dei due circuiti deve essere calcolato in modo da non permettere alla temperatura di elevarsi al di sopra di 80° per non ottenere un deterioramento nel potere isolante del coibente adoperato. — I trasformatori, che debbono sottostare ad elevatissime differenze di potenziale, sono immersi in bagni di olio per migliorarne le condizioni isolanti. — Il collaudo dei trasformatori si fa misurando il rendimento e verificando il modo di funzionamento sia rispetto all' isolamento che alla regolazione.

CAPITOLO V.

Trasformatori polifasi

Non solo le correnti alternate semplici possono essere trasformate per mezzo di trasmatori statici, ossia che non hanno organi in movimento, ma lo possono , per mezzo di apparecchi fondati sul medesimo principio , anche le correnti polifasi, perchè anche esse, provocando un flusso variabile, permettono la generazione di correnti indotte in circuiti che si trovano nel campo da loro determinato.

Si hanno, quindi, nell' industria, trasformatori bifasi e

trifasi, perchè questi sono i due tipi di correnti polifasi che presentemente sono applicati negli impianti elettrici.

La trasformazione della corrente bifase e di quella trifase si può fare sia per mezzo di due trasformatori monofasi la prima, e di tre la seconda, che per mezzo di un trasformatore unico.

Nel caso che si adotta l' insieme di più trasformatori monofasi, ciascuna fase si invia nel primario di un trasformatore che può essere di una qualunque delle forme a cui innanzi abbiamo accennato, e dal secondario di ciascuno di essi si ricava una delle fasi della corrente da utilizzare.

Le spirali primarie e le secondarie possono essere riunite o a stella o a poligono, e gli spostamenti di fase, fra le correnti del secondario, restano eguali in valore assoluto a quelli del primario.

È inutile considerare, perchè è evidente, che le connessioni dei due circuiti possono essere di natura diversa, cioè l'una a poligono e l'altra a stella. Naturalmente, in tal caso, il valore della differenza di potenziale ai poli del secondario dipende non soltanto dal rapporto del numero delle spire, ma anche dalla diversa connessione adoperata.

Nel caso, invece, che si voglia adottare un unico trasformatore, le cose cambiano un poco come disposizione.

Un trasformatore rettagolare con due branche verticali, facienti parte di un sistema ad *u* su cui si poggia una sbarra orizzontale per chiudere il circuito magnetico, tipo che abbiamo già esaminato nei trasformatori monofasi, può servire da trasformatore bifase.

I due avvolgimenti primari, corrispondenti alle due fasi, si avvolgono sulle due sbarre verticali e si uniscono o a stella o a poligono, e su ciascuno di essi si avvolge un circuito secondario, ottenendosi le due fasi del secon-

dario, che possono essere, alla loro volta, riunite a stella o a poligono.

Un trasformatore, invece, in cui la forma ad *u* è sostituita da quella ad *E* può essere un ottimo trasformatore trifase. In esso, su ciascuna branca verticale, è disposta una fase come avvolgimento primario e come avvolgimento secondario, e tanto le prime che le seconde possono essere connesse sia a stella che a triangolo.

Invece della disposizione ad *E* può adottarsi la disposizione a triangolo in cui le tre branche verticali sono disposte ai tre vertici di un triangolo equilatero e sono riunite da sbarre disposte secondo i lati sia nella parte inferiore che in quella superiore per chiudere il circuito magnetico e su ciascuna delle tre branche verticali è avvolta una fase del primario con la corrispondente fase del circuito secondario.

Tutto quello che si è detto come difetti, rendimento. collaudo ed impianto dei trasformatori a corrente alternata semplice va ripetuto parola a parola pei trasformatori polifasi.

RIASSUNTO

Anche le correnti polifasi possono trasformarsi nei loro elementi con trasformatori ad induzione. — I trasformatori polifasi o possono essere un aggruppamento di tanti trasformatori monofasi per quante sono le fasi della corrente che si adoperano o essere rappresentati da un unico apparecchio. — Un trasformatore rettangolare può essere adoperato come trasformatore bifase mentre un trasformatore con nucleo ad *E* può essere adoperato come trasforma-

tore bifase. — I circuiti primario e secondario dei trasformatori polifasi possono essere riuniti a stella o a poligono.

CAPITOLO VI.

Trasfomatori di compensazione

Già abbiamo accennato a questi traformatori, quando abbiamo parlato, nella regolazione degli alternatori, dei sistemi di eccitazione composta.

Essi non sono che degli ordinari trasformatori in cui la spirale secondaria invece di essere completamente indipendente da quella primaria ha un estremo comune con essa.

Da ciò deriva che la corrente, che si determina nella spirale secondaria, non è dovuta soltanto al fenomeno di induzione elettromagnetica ma anche alla corrente che direttamente attraverso di essa circola per la sua unione col circuito principale.

Data questa disposizione, è chiaro che il rapporto di trasformazione viene del tutto ad essere cambiato e l'apparecchio funziona piuttosto da elevatore di potenziale che da vero trasformatore.

Per tale ragione, questi trasformatori servono principalmente per le distribuzioni di corrente su una superficie abbastanza estesa e fanno l'effetto di veri SURVOLTORI ossia di veri sopraelevatori di potenziale. Con essi la distribuzione è fatta in modo che nei punti più vicini alla stazione di produzione si invia, senz' altro, la corrente data da un ordinario trasformatore, mentre, nei punti più lontani, si invia la corrente del secondario del trasformatore di compensazione, che, partendo con un potenziale più elevato, permette di arrivare a punti più lontani col medesimo valore col quale si arriva nei punti più vicini.

Questi trasformatori, da poco entrati nella pratica, vanno man mano estendendosi negli impianti a corrente alternata e dànno ovunque ottimi risultati.

Essi possono essere — è inutile dirlo – tanto alimentati da corrente mono che polifase.

RIASSUNTO

I trasformatori di compensazione hanno uno degli estremi del circuito secondario in unione con uno degli estremi del primario. — La differenza di potenziale ai poli del secondario di questi trasformatori è superiore a quella che si otterebbe se il trasformatore funzionasse nel modo ordinario.

II.

Trasformatori di forma delle correnti

Capitolo I.

Trasformatori rotanti e commutatrici

La forma più semplice di un trasformatore di corrente continua in corrente alternata è costituita da un gruppo motore-dinamo accoppiati direttamente. Nel motore a corrente continua si invia la corrente che si vuole trasformare: essa fa muovere il motore che trascina nel suo movimento la dinamo a corrente alternata che dà vita alla corrente alternata che può essere monofase, bifase o trifase a seconda del sistema di avvolgimento che si è adoperato.

Se si scambiano i termini, ossia se si suppone che il motore sia a corrente alternata semplice o polifase e la dinamo sia a corrente continua si ha la trasformazione di una corrente alternata in corrente continua.

In questa trasformazione è sottinteso che si può indifferentemente provvedere all'aumento o alla diminuzione della differenza di potenziale calcolando la dinamo o l'alternatore che danno la corrente in modo da ottenere il valore del potenziale che necessita nell'impianto.

Anche, quì, come nei trasformatori rotanti a corrente continua, si possono calettare le due armature su uno stesso asse e farle muovere nel medesimo campo inducente, ed anche, quì, si possono soprapporre i due avvolgimenti sopra il medesimo nucleo.

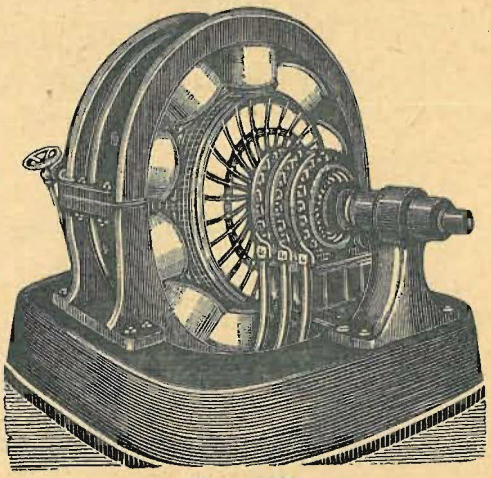


Figura 29.ª

Anzi, in quest'ultima disposizione, si può fare a meno del secondo avvolgimento e si può rimanere un solo avvolgimento nel qual caso il trasformatore assume il nome di COMMUTATRICE (fig. 29.ª e 30.ª) del cui funzionamento possiamo persuaderci facilmente ricordando il modo di generazione della corrente nell'armatura delle dinamo.

Noi abbiamo visto che nelle dinamo la corrente che si genera nell'armatura è alternata, e che diventa continua solo al di là del collettore per la speciale disposizione

di questo e delle spazzole. Abbiamo anche visto che se, in un armatura identica a quella che serve per generare la corrente continua, riuniamo due punti diametralmente opposti a due anelli conduttori calettati sull'asse ed isolati da questo e fra di loro otteniamo su di essi una corrente alternata. Ed allora se sull' asse poniamo da una parte un collettore sezionato per corrente continua con le congiunzioni alle diverse sezioni come in una ordinaria dinamo a corrente continua, e dall' altra parte un collettore per corrente alternata costituito da due anelli

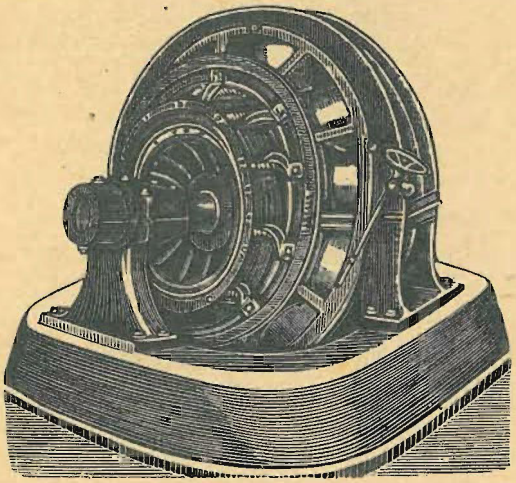


Figura 30.ª

che sono in contatto metallico con due punti diametralmente opposti dell'avvolgimento dell' armatura, e facciamo muovere quest'armatura, a secondo che utilizziamo il circuito del collettore sezionato o quello del collettore costituito dai due anelli raccogliamo una corrente continua od una corrente alternata. Possiamo anche utilizzare le due forme di corrente, mettendo, però, in moto la macchina mediante un motore qualsiasi.

È inutile dire che con questa disposizione noi possiamo anche ottenere da una parte corrente continua e dall' altra corrente bifase o trifase facendo dall' altra parte le connessioni con quattro o tre anelli nel modo indicato per ottenere queste speciali correnti.

Ma noi abbiam dimostrato che la corrente la otteniamo per il movimento dell'armatura nel campo magnetico generato dai circuiti iuduttori senza fare alcuna considerazione, nè alcuna restrizione sulla causa del movimento, quindi debbiamo ottenerla sia quando l'armatura si muove perchè un'energia meccanica qualsiasi le imprime il movimento sia che questo sia provocato dalla trasformazione di energia elettrica. Ed allora, se noi inviamo, per mezzo del collettore ad anelli, una corrente alternata nell'armatura, questa si mette in movimento e dal collettore a corrente continua noi raccogliamo quest' ultima forma di corrente. L' inverso si ottiene se invece inviamo corrente continua al collettore sezionato ed allora raccogliamo dall'altro collettore la corrente alternata sia mono che polifase.

Questi convertitori, rotanti che hanno avuto grandissima applicazione negli impianti di trazione elettrica — come vedremo a suo tempo —, presentano un funzionamente perfetto. Il loro rendimento, però, non sale al di sopra dell' 90 $^{o}/_{o}$ ed hanno bisogno di continua sorveglianza essendo in continuo movimento.

Essi presentano un inconveniente gravissimo quando si tratta di dover trasformare la corrente alternata semplice in corrente continua, dovuto al fatto che i motori a corrente alternata non si avviano se non sono portati ad una velocità sincrona con l'alternativa della corrente, come vedremo quando tratteremo dei motori a corrente alternata. Questo inconveniente si può facilmente eliminare specialmente quando si ha disposizione un impianto di

accumulatori, perchè si comincia con l'inviare la corrente fornita da questi nel convertitore dalla parte del collettore a corrente continua e si fa funzionare questo come motore a corrente continua. Quando si è raggiunta la velocità voluta, che dicesi velocità di SINCRONISMO, si chiude il circuito della corrente alternata sull'altro collettore ed il convertitore continua a funzionare fornendo corrente continua.

Quando non esiste una batteria di accumulatori bisogna provvedere all'avviamento con uno dei sistemi che studieremo pei motori asincroni monofasi.

Nei convertitori a corrente polifase, questo inconveniente non si riscontra, perchè i motori a campo rotante non hanno bisogno del sincronismo per mettersi in movimento ma si avviano senz'altro quando in essi inviamo la corrente. I convertitori, quando servono a trasformare in corrente continua la corrente alternata, non ricevano mai questa ad alto potenziale, ma la ricevono dopo che se ne è abbassato il potenziale. A ciò si provvede istallando nella stazione di trasformazione dei trasformatori statici, la cui corrente secondaria è quella che si invia nella convertitrice.

RIASSUNTO

Un motore a corrente alternata accoppiato ad un alternatore trasforma la corrente alternata inviata nel primo in corrente continua fornita dal secondo. — I due indotti possono essere calettati sul medesimo asse e nel medesimo campo induttore. — Il medesimo avvolgimento può servire pei due uffici se si adoperano due collettori uno per la corrente continua e l'altro per la corrente alternata ed

allora la macchina viene chiamata convertitrice. — All'avviamento della convertitrice si provvede con una batteria di accumulatori facendo funzionare come motore la dinamo a corrente continua fino a raggiungere la velocità del sincronismo. — Se non si ha a disposizione una batteria di accumulatori bisogna provvedere allo avviamento adoperando uno dei metodi che studieremo parlando dei motori a corrente alternata semplice. — Quando deve trasformarsi la corrente polifase in corrente continua non vi è bisogno di alcun dispositivo speciale perchè i motori polifasi si avviano spontaneamente anche sotto carico come i motori a corrente continua. — Prima di trasformare la corrente alternata in corrente continua bisogna ridurre il potenziale di quella mediante trasformatori statici.

CAPITOLO II.

Rocchetto di Rhumkorff

In tutto quello che abbiamo finora detto è risultato che, mentre nei trasformatori a corrente alternata si può risolvere il problema adottando apparecchi che non presentino parti in movimento, iu quelli a corrente continua debbono esservi assolutamente parti in movimento, perchè la corrente, mantenendosi sempre costante come direzione e e grandezza, non permette il verificarsi dei fenomeni di induzione.

La corrente continua, però, se non permette il determinarsi di questi fenomeni durante il tempo del suo funzionamento, nel momento in cui essa si stabilisce, ed in

quello in cui cessa, presenta due stati variabili, nel primo dei quali si ha un aumento dal valore zero al valore normale, e nel secondo una diminuzione da questo allo zero. In questi due periodi variabili si determinano fenomeni di induzione, e quindi se si interrompe continuamente il circuito di una corrente continua, si hanno per ogni interruzione due correnti indotte una corrispondente alla chiusura e l'altra all' apertura.

Su questo principio è basato un trasformatore di corrente continua in corrente variabile, trasformatore che è il più antico per data di quelli conosciuti e che va conosciuto sotto il nome di ROCCHETTO DI RHUMKORFF.

Esso va ricordato a titolo di onore, per la parte grandissima che occupa presentemente nella telegrafia senza fili.

Il rocchetto di Rhumkorff è costituito, come schema, sul medesimo stampo del generatore secondario di Gaulard e Gibbs. Un fascio di fili di ferro è coperto da due avvolgimenti uno primario di poche spire di filo grosso, uno secondario di moltissime spire di filo sottilissimo.

Nel primario si invia una corrente continua che viene rapidamente interrotta sia con uno di quegli interruttori ad ancora di cui parlammo nel primo volume, o di quelli a succhiamento nel medesimo posto menzionati, o meglio di interruttori rotativi che sono costituiti da un' asta metallica mossa per mezzo di un eccentrico da un motore elettrico, asta che, a secondo che si alza o si abbassa nel girare dell'eccentrico apre o chiude il circuito della corrente che va nel primario del rocchetto, o di qualsiasi altro tipo di interruttore rapido.

Ad ogni chiusura ed apertura di circuito corrisponde una variazione di flusso ed una corrente indotta nel secondario, che, essendo composto di moltissime spire, eleva enormemente il valore della differenza di potenziale, tanto

da permettere lo scoccare di scintille che superano, talvolta, la lunghezza di un metro.

Data questa differenza elevatissima di potenziale, deve badarsi, in modo diligentissimo, all' isolamento delle spirali secondarie fra di loro e dal circuito primario per impedire una fulminazione dell' apparecchio.

Nel circuito primario , ordinariamente, è unito in derivazione un condensatore , che , caricandosi e scaricandosi contemporaneamente col rocchetto, aumenta la energia che si ha a disposizione in ciascuna scarica e permette una lunghezza di scintilla di gran lunga superiore a quella che si avrebbe se fosse del tutto eliminato.

I rocchetti di Rhumkorff, oltre che per le applicazioni della telegrafia senza fili , trovano la loro applicazione anche nella fotografia dell' invisibile per mezzo dei RAGGI RÖNTGEN (RAGGI X) ed in moltissime applicazioni medicali che studieremo nella parte che tratterà gli impianti.

Sul medesimo tipo sono costruiti i trasformatori Tesla che però ricevono la corrente già trasformata in elevato potenziale da un ordinario rocchetto di Rhumkorff e la elevano ancora di potenziale, aumentandone, però, contemporaneamente la frequenza mediante opportune disposizioni. Questi trasformatori, presentando ai poli del secondario una differenza di potenziale di diverse centinaia di migliaia volt, debbono essere isolati mediante olio, e generalmente si adopera quello di vasellina che presenta il più elevato potere isolante.

RIASSUNTO

Il rocchetto di Rhumkorff è un trasformatore a circuito magnetico aperto che eleva il potenziale di una corrente continua rapidamente interrotta.— La interruzione della corrente continua la si ottiene

con un opportuno interrutore. — Per aumentare la potenza della scarica del rocchetto si suole aggiungere in derivazione ai poli del primario un opportuno condensatore.

Capitolo III.

Trasformatori di fase

I trasformatori di fase servono a mutare una corrente alternata in un'altra di diversa specie: per esempio una corrente bifase in trifase e viceversa, o una corrente polifase in monofase e viceversa. Essi sono impiegati per utilizzare, su una determinata distribuzione, apparecchi costruiti per un altra specie di corrente e anche per poter, trasformando le correnti polifasi in monofasi, alimentare con queste le reti per illuminazione e con quelle le reti per forza motrice, eliminando gli inconvenienti che si riscontrano nelle distribuzioni polifasi quando, dovendo servire all'uno ed altro scopo, hanno i diversi circuiti variamente caricati.

Il primo a tentare questi TRASFORMATORI DI FASE fu l'americano Scott, che costruì un trasformatore della corrente bifase in corrente trifase per l'economia che con questa si ottiene nella distribuzione, senza cambiare il macchinario già istallato.

A questo scopo egli si servì di un trasformatore bifase in cui i due circuiti primari erano identici a quelli dei trasformatori ordinari: su questi erano avvolti due circuiti che non erano indipendenti ma il secondo aveva un estremo libero e l'altro era in unione col punto centrale del precedente avvolgimento. Dando ai due avvolgimenti un opportuno numero di spire egli ottenne, ai tre estremi liberi del circuito secondario, tre correnti che erano

appunto spostate di fase di un terzo di periodo l'una dall'altra come può verificarsi con una semplice costruzione grafica.

Galileo Ferraris e Riccardo Arnò hanno proposto altri apparecchi per ottenere da una data corrente primaria monofase una distribuzione con correnti polifasi da servire specialmente per l'avviamento dei motori.

Questi trasformatori, come gli ordinari, hanno le spirali primarie e secondarie fisse, ma hanno poi una parte centrale rotante, che è mantenuta in movimento come l'armatura dei motori MONOFASI ASINCRONI che or ora studieremo.

Tali trasformatori permettono di trasformare una corrente monofase in bifase o trifase, e si adoperano specialmente per avviare i motori alternati monofasi, come vedremo in seguito, i quali abbiam già detto che, per mettersi in movimento, hanno bisogno di fare un numero di giri eguale all'alternativa della corrente.

Finalmente 1898 il Professor Guido Grassi trovava il modo di trasformare la corrente trifase in monofase, con un rendimento altissimo, mediante un ordinario trasformatore trifase in cui i tre avvolgimenti primari erano identicamente disposti come in un ordinario trasformatore trifase, tranne uno dei circuiti che si presentava invertito, e su di essi era avvolto un unico avvolgimento secondario dal quale, mediante opportuno numero di spire, ricavava una corrente perfettamente alternata semplice.

Con tale sistema si possono alimentare col circuito secondario monofase le reti di illuminazione, per evitare che le variazioni in uno dei circuiti del sistema trifase si risentissero sugli altri circuiti, squilibrando la distribuzione. Per ottenere un perfetto equilibrio bisogna raggruppare tre trasformatori con permutazione ciclica invertendo in ciascuno di essi uno dei tre circuiti primari, perchè altrimenti le tre fasi non lavorano egualmente.

RIASSUNTO

I trasformatori di fase servono a trasformare una corrente alternata semplice in polifase o viceversa, o anche una corrente polifase in un'altra di diversa specie. — Il trasformatore Scott serve a trasformare una corrente bifase in trifase. — I trasformatori Ferraris Arnò servono a trasformare una corrente monofase in bifase o trifase. — Il trasformatore Grassi serve a trasformare una corrente trifase in monofase.

PARTE OTTAVA

Motori a corrente continua

Capitolo I.

Generalità sui motori a corrente continua

Prima ancora che fosse inventata la dinamo i tecnici erano tormentati dall'idea di utilizzare la elettricità come forza motrice e molti tentativi, più o meno riusciti, si erano fatti a questo scopo, poggiandosi tutti sull' attra-

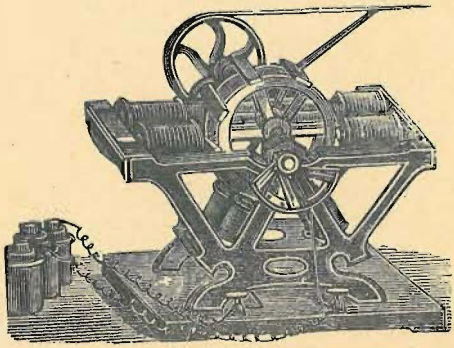


Figura 31.ª

zione che la corrente, che circola in una elettrocalamita, esercita su un pezzo di ferro.

Uno dei tipi più geniali di motori basati su questo principio fu quello dovuto al Froment (vedi fig. 31ª) in cui quattro elettrocalamite sono disposte secondo i raggi di un cerchio e sei ancore, calettate sull' asse, sono mobili e girando si spostano tangenzialmente ad esse. La corrente comincia a passare in una delle elettrocalamite;

questa attira l'ancora che le è vicina e la fa spostare di un determinato angolo assieme ad un contatto mobile che interrompe la corrente nella elettrocalamita ora considerata ed aziona con essa la calamita successiva, che attira un'altra ancora che le si trova vicino, e così successivamente si azionano tutte le elettrocalamite in modo che l' asse compie un giro completo quando la quarta elettrocalamita ha cessato di funzionare e tutto ritorna nel primitivo stato ed il movimento può continuare perchè ricomincia novellamente ad essere azionata la prima elettrocalamita.

Però questo ed altri motorini, basati su per giù sul medesimo principio, erano da ritenersi piuttosto dei giocattoli, che dei veri apparecchi industriali, e, fino all' epoca della invenzione della dinamo, non si arrivò mai ad un risultato efficace.

Il curioso è che anche dopo l'invenzione della dinamo a corrente continua nessuno si avvide o previde la sua invertibilità, ma passarono ancora degli anni senza che si facesse un passo decisivo verso la scoperta di questa importantissima proprietà.

Fu solo per caso che venne a scoprirsi questo principio; ed il caso capitò all' elettricista Fontaine all' esposizione di Vienna del 1874 quando, chiudendo il circuito di una dinamo, per una sbagliata manovra, fatta sul quadro di distribuzione, invece di mandare la corrente nel circuito esterno la mandò in un'altra dinamo che si trovava ferma e che immediatamente cominciò a girare. Da quel giorno la scoperta del motore elettrico era fatta ed istantaneamente la invertibilità di tutte le dinamo sia a corrente continua che a corrente alternata venne accertata, e tutti si diedero a studiare i particolari costruttori di esse, perchè, adoperate come motori, presentassero il medesimo rendimento elevato, che, come generatrici, presentavano.

Noi, per ora, non faremo distinzione di sistemi di eccitazione, perchè quello che diciamo in questo capitolo non dipende dal modo di eccitazione ma vale per qualunque sistema si adotti.

Il motore elettrico può definirsi como una macchina che trasforma la energia elettrica in meccanica, a differenza della dinamo che provvede alla trasformazione inversa e cioè della energia meccanica in elettrica: in queste si dà movimento e si ottiene corrente, in quelli si invia corrente e si ha movimento.

Ma il motore elettrico, messo in moto dalla corrente, e quindi dalle reazioni che si stabiliscono fra le polarità inducenti e quelle che si determinano nell'armatura, ha sempre un'armatura, come quella delle dinamo, che si muove in un campo magnetico, e che, per tale ragione, genera una corrente, che, perchè, di senso contrario a quella che gli si invia, porta il nome di FORZA CONTRO ELETTROMOTRICE. Essa rappresenta il lavoro che la dinamo può sviluppare, e quanto più essa è elevata tanto maggiore è il lavoro meccanico che il motore può fornire (1).

---

(1) Se indichiamo con E la differenza di potenziale che manteniamo ai poli del motore e con e la forza controelettromotrice che in esso si genera, applicando al circuito dell'armatura la legge di Ohm si ha:

$$E - e = ri$$

in cui r è la resistenza dell'armatura ed i la intensità che in essa circola.

Moltiplicando ambo i membri della espressione considerata per la intensità i si ottiene:

$$Ei - ei = ri^2$$

da cui si ricava

$$\underset{\text{potenza fornita}}{Ei} = \underset{\text{potenza utilizzata}}{ei} + \underset{\text{potenza trasfor. in calore}}{ri^2}$$

da cui si vede che, della potenza fornita, una porzione ei, proporzionale alla forza controelettromotrice generata, si utilizza come energia meccanica ed un'altra ri^2 si trasforma in energia calorifera.

Questa forza contro elettromotrice, generando una corrente di senso contrario a quella che si invia dal circuito esterno, abbassa il valore dell'intensità, e, per tale ragione, nel primo momento, quando l'armatura è ferma, la intensità acquista valori elevatissimi, perchè non esiste la corrente contraria che si determina solo col movimento. A misura che questo comincia a determinarsi, sviluppandosi la forza controelettromotrice, comincia a diminuire il valore della corrente, e, quando la velocità arriva al valore normale, la intensità assume il minor valore possibile e si mantiene costante fino a che non varia la velocità.

Se la forza controelettromotrice rappresenta col suo valore moltiplicato per la intensità della corrente la potenza che viene trasformata in movimento, il resto della potenza, per arrivare a quella fornita, viene perduta per riscaldamento dei circuiti e nelle resistenze passive, quindi è tanto più elevato il rendimento di un motore quanto maggiore è la forza contro elettromotrice che sviluppa nel movimento.

Nei motori la quantità di cui bisogna tenere massimo conto è la COPPIA MOTRICE che è quella che ci indica lo sforzo che noi possiamo vincere sulla puleggia del motore stesso. Essa ha per espressione

$$C = K\varphi i$$

in cui K è una costante, φ è il flusso che attraversa l'armatura ed i è la intensità della corrente che attraversa lo stesso circuito (1).

(1) La coppia motrice rappresenta lo sforzo che il motore può vincere nella sua rotazione. Se indichiamo con d il diametro che ha la puleggia del motore, in un giro completo ciascun punto della puleggia compie il percorso πd e se f è la forza che può vincere il motore

Perchè il motore presenti un andamento stabile, la coppia motrice deve seguire, con le sue variazioni, spontaneamente quelle della coppia resistente, ossia col crescere di questa, mentre il motore tenta a rallentare per

---

tangenzialmente alla puleggia, il lavoro che può compiere per ogni giro è πdf, e se esso fa n giri a minuto primo sarà $\frac{\pi dfn}{60}$ il lavoro che può compiere a minuto secondo, ossia la potenza del motore. Questa potenza, per la legge della conservazione della energia, deve essere eguale alla potenza che sviluppa il motore, cioè deve essere eguale ad ei come risulta dalla formola (1) della nota precedente. Deve quindi aversi

$$\frac{\pi dfn}{60} = ei \qquad (1)$$

Ma e non è altro che la forza elettromotrice che genererebbe il motore se funzionasse da dinamo e facesse il medesimo numero di giri movendosi attraverso il medesimo campo inducente, dunque

$$e = N\varphi n$$

e quindi nella formola (1) si avrà

$$\frac{\pi df}{60} = N\varphi i$$

Il prodotto della forza tangenziale f per il braccio di leva d è quello che è conosciuto sotto il nome di *coppia motrice C*, dunque si avrà

$$\frac{\pi}{60} C = N\varphi i$$

da cui si ricava

$$C = \frac{60N}{\pi} \varphi i$$

e ponendo

$$\frac{60N}{\pi} = K$$

si ha

$$C = K\varphi i. \qquad (2)$$

il maggior lavoro che deve eseguire, deve proporzionalmente crescere la coppia motrice per poter vincere l' aumentato carico ed impedire che il movimento man mano rallentandosi venga a cessare, ed inversamente deve avvenire nel caso che la coppia resistente diminuisca.

È chiaro, però, che le variazioni della coppia motrice, dipendenti dalla intensità che circola nell'armatura, debbono dipendere assolutamente dal sistema di eccitazione che si adopera, e, quindi, per studiare l' andamento dei motori, bisogna considerare il diverso modo come essi sono eccitati, ossia se hanno l' eccitazione in serie, in derivazione, composta o indipendente, essendovi tanti tipi di motori per quanti sono i tipi di dinamo, cosa a cui già diverse volte abbiamo accennato.

RIASSUNTO

Prima della scoperta della invertibilità della dinamo vi erano motori elettromagnetici basati sulle attrazioni di ancore di ferro per parte di elettromagneti. — Motore Froment. — Scoperta della invertibilità della dinamo per parte di Fontaine. — Il motore elettrico è una macchina che trasforma la energia elettrica in meccanica. — La potenza del motore elettrico dipende dalla forza controelettromotrice che esso sviluppa nel suo movimento. — Una parte della potenza elettrica fornita al motore si spende a creare la potenza meccanica che si utilizza ed una parte si perde nella resistenza dell'armatura e dei circuiti conduttori, oltre a quella che si perde nelle altre resistenze passive. — La coppia motrice è proporzionale alla intensità che circola nell'armatura ed al flusso.

CAPITOLO II.

Motori eccitati in serie

Supponiamo di avere una dinamo eccitata in serie che dia corrente in un determinato senso e di inviare in essa una corrente di identico senso di quella prodotta, in modo di rimanere identiche le polarità dei circuiti, è evidente che la dinamo — in questo caso — agendo da motore — deve girare in senso inverso di quello che teneva quando agiva da generatrice.

La spiegazione di ciò è semplicissima. Quando la dinamo funzionava da generatrice la energia elettrica, che si produceva era l'equivalente della energia meccanica che si doveva spendere in più della ordinaria per mantenere in movimento l'armatura vincendo le ripulsioni che si determinavano fra i poli induttori e quelli che si generavano nell' armatura. Ora che essa funziona da motore le polarità restano le stesse e la corrente, che circola nei due circuiti riuniti in serie — non essendovi più la sorgente esterna di movimento che fa vincere le repulsioni — le lascia libere di manifestarsi e sono esse che determinano il movimento dell'armatura.

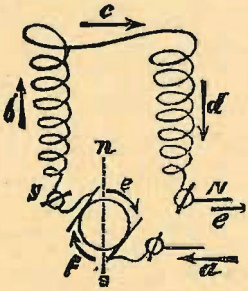


Figura 32.ª

Questo fatto si riconosce istantaneamente esaminando le due figure 32 e 33. La figura 32 rappresenta la macchina, che, funzionando da dinamo, e girando da sinistra verso destra (freccie *e* ed *f*) fornisce corrente nel circuito esterno nel senso indicato dalle freccie *a*, *b*, *c* e *d*. La energia che si trasforma in elettrica è quella che deve spendersi per vincere le repulsioni che si manifestano fra i poli omonimi *nN*

e *sS* che congiurano entrambe ad opporsi al movimento. Se noi mandiamo nella dinamo una corrente del medesimo segno di quello che esso forniva, come vedesi nella figura 33, è evidente che essa, attraversando i medesimi circuiti nel medesimo senso che prima li attraversava, produrrà le identiche polarità nei due circuiti, ed allora per le attrazioni che si eserciteranno fra i poli eteronimi *nS* e *sN* l'armatura si metterà a ruotare da destra verso sinistra (freccie *r* e *t*), cioè in senso inverso a quello con cui ruotava quando funzionava da generatore.

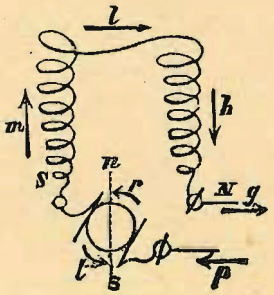


Figura 33.ª

Il movimento, una volta iniziatosi, permane continuamente, perchè i due campi magnetici conservano continuamente la medesima posizione, mantenendosi nell'armatura, per mezzo delle spazzole e del collettore, continuamente un campo normale a quello inducente, e quindi ad ogni istante si ripetono le identiche attrazioni che abbiamo esaminate nel primo momento in cui abbiamo lanciata la corrente nel motore e ciò avviene fino a che questa perdura.

L'armatura, girando in senso contrario a quello della dinamo, fa sì che le spazzole, le quali si trovano spostate in avanti nel senso del movimento quando la dinamo funzionava da generatrice, risultano ora, che essa funziona da motore, spostate indietro nel senso del movimento, e debbono essere cambiate di direzione per non essere prese di punta per l'avvenuta inversione del movimento.

Nel motore in serie, quando l'armatura è immobile e si comincia a far passare la corrente, non essendovi forza

contro-elettromotrice, si ha una intensità grandissima che risulta la massima di tutte le altre intensità, perchè non vi è generazione di intensità di senso contrario che si determina appena comincia il movimento. Questa intensità, circolando anche nella eccitazione per la riunione in serie dei due circuiti, produce la massima eccitazione possibile e quindi anche la massima coppia motrice, perchè nella formula che questa individua si ha:

$$C = K\varphi i$$

da cui si vede che essendo massimi entrambi i fattori, deve essere massima anche la coppia motrice. Per tale ragione il motore in serie può vincere, nel momento dell'avviamento, coppie resistenti elevatissime, rendendo splendidi servigi specialmente nella trazione elettrica.

Però, siccome la intensità, in questo primo momento, assume valori grandissimi, i quali possono risultare pericolosi per gli avvolgimenti del motore, si inserisce una opportuna resistenza in serie con esso; resistenza che si va man mano escludendo a misura che l'armatura, aumentando la velocità e generando una forza contro elettromotrice sempre crescente produce proporzionalmente a questa una diminuzione nella intensità della corrente. Questa resistenza porta perciò, il nome di RESISTENZA DI AVVIAMENTO.

Verifichiamo se il motore in serie presenta un andamento stabile.

Col crescere della coppia resistente, l'armatura tende a diminuire la velocità con la quale si muove, e proporzionalmente a questa diminuisce la forza contro elettromotrice. A questa diminuzione corrisponde un aumento della intensità tanto nell'armatura che nell'eccitazione, e quindi anche un aumento nel flusso; per conseguenza, aumentando i e φ, aumenta anche la coppia motrice C

ed il motore si trova in condizione da poter vincere l'aumentato carico.

Se invece diminuisce la coppia resistente avviene il contrario: l'armatura accelèra il suo movimento, cresce la forza contro elettromotrice, diminuiscono l'intensità i ed il flusso φ e per conseguenza diminuisce anche la coppia motrice, e l'armatura si rende capace di fornire una coppia minore e si rende impossibile un aumento indefinito del valore della velocità,

Il motore eccitato in serie presenta, quindi, un andamento perfettamente stabile, ed una coppia motrice di primo distacco elevatissimo.

RIASSUNTO

Il motore in serie gira in senso inverso della dinamo corrispondente, quando in esso si invia una corrente del medesimo senso di quella che questa genera. — Le spazzole nel motore in serie si trovano spostate indietro nel senso del movimento.— La intensità, il flusso e la coppia motrice sono massime nel momento in cui si invia la corrente nel motore eccitato in serie. — Per evitare guasti nell' isolamento dei circuiti si suole inserire in serie col motore una resistenza detta di avviamento che si esclude man mano che il motore aumenta di velocità. — Il motore in serie presenta un andamento perfettamente stabile.

CAPITOLO III.

Motori eccitati in derivazione

Supponiamo anche quì di avere una dinamo, che, eccitata in derivazione produca corrente, girando in un determinato verso. La corrente, generata dall'armatura, va per una porzione nel circuito esterno e per una parte nel circuito di eccitazione, suddividendosi in ragione inversa delle resistenze che presentano i due circuiti.

Inviamo ai poli della dinamo una corrente del medesimo senso di quella che essa forniva nel circuito esterno: ispezionando i circuiti (fig. 34 e fig. 35) si vede che,

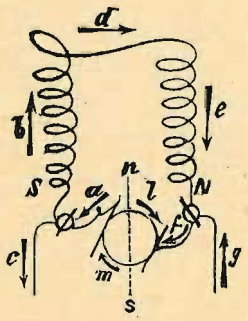


Figura 34.°

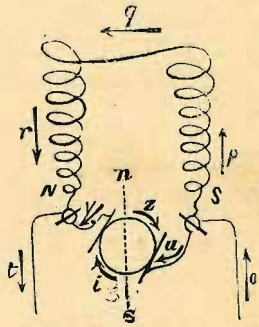


Figura 35.ª

mentre la corrente nell' armatura mantiene il medesimo senso di quando la macchina funzionava come generatrice, nella eccitazione prende il senso opposto: quindi mentre la polarità dell' armatura è rimasta inalterata, quella degli induttori si è invertita ed allora, a differenza di quello che avveniva per la dinamo in serie, la dinamo in derivazione gira nel medesimo senso anche funzionando da motore.

Il motore in derivazione presenta, quindi, questa prima differenza da quello in serie, e come conseguenza mantiene le spazzole avanzate nel senso della rotazione e identicamente inclinate come quando funzionava da generatore.

Se invertiamo la corrente nel circuito esterno, si inverte contemporaneamente la polarità tanto nel circuito inducente che in quello indotto e l' armatura continua a girare nel medesimo senso, come, d'altra parte, si verifica anche nel motore in serie. Per ottenere, quindi, la inversione del movimento, mediante un apparecchio apposito che porta il nome di COMMUTATORE, deve invertirsi la corrente in uno solo dei due circuiti, o nell' inducente o nell' indotto, perchè, solo in tal modo, cambiando la posizione mutua dei due campi magnetici, si può ottenere la inversione del movimento.

Vediamo come si comporta questo motore nel suo funzionamento per quanto riguarda messa in moto e stabilità.

Quando si invia la corrente ai poli del motore, essa trova innanzi a sè due circuiti: uno, quello dell'armatura, di piccolissima resistenza; l'altro, quello degli induttori, di resistenza grandissima, e quindi quasi totalmente si immetterebbe nell'armatura, che, per la intensità eccessiva che l' attraverserebbe, verrebbe certamente deteriorata. D' altra parte il motore non potrebbe mettersi in movimento perchè la corrente che andrebbe nella eccitazione sarebbe talmente piccola da produrre un campo magnetico e quindi anche un flusso così debole, che, pur essendo grandissima la intensità di corrente i nell'armatura, provocherebbe una coppia motrice C talmente piccola da non poter vincere neppure una piccolissima coppia resistente.

Per eliminare tale inconveniente, bisogna inserire nel circuito dell'armatura una resistenza addizionale, che, nel

primo momento, riduca la intensità attraverso di esso e faccia aumentare quella che va nel circuito inducente, in modo che si determini un flusso φ conveniente per far acquistare alla coppia motrice un valore abbastanza alto da vincere coppie resistenti relativamente forti. Naturalmente la resistenza inserita nel circuito dell' armatura a misura che questa accelera il movimento e comincia a determinarsi la forza controelettromotrice, viene man mano esclusa, fino ad escludersi completamente quando quello abbia raggiunto il valore normale, perchè la forza controelettromotrice, provocando una diminuzione della intensità nell' armatura, fa lo stesso effetto di un aumento di resistenza.

Però il motore in derivazione, pure raggiungendo, con questa disposizione, una coppia motrice abbastanza elevata, non arriva mai ad averne una così forte come il motore eccitato in serie, e non può vincere le resistenze elevatissime che questo può vincere nel momento del primo distacco.

Quanto si è detto, vale per il caso del motore in derivazione alimentato ad intensità costante. Nel caso invece che lo si alimenti a differenza di potenziale costante, la eccitazione si mantiene costante e non viene a mancare la coppia motrice, ma la intensità nell' armatura, per la mancanza della forza controelettromotrice, assumerebbe valori pericolosi, ed è solo per tale ragione che in questo caso bisogna anche aggiungere, nel primo momento, in serie con l'armatura, un' opportuna resistenza.

A queste resistenze, che si introducono in circuito tanto nel motore in serie, come abbiamo visto nel capitolo precedente, quanto in quello in derivazione, e che servono per provvedere ad un regolare avviamento, viene, per tale ragione, dato il nome di RESISTENZE DI AVVIAMENTO.

Nel motore eccitato in derivazione, alimentato a inten-

sità costante, quando aumenta la coppia resistente, l'armatura diminuisce di velocità, la forza controelettromotrice diminuisce, e con essa cresce la intensità i che la attraversa e diminuisce quella che attraversa la eccitazione, per conseguenza diminuisce anche il flusso φ che questa genera, ed allora nella coppia motrice uno dei due fattori cresce mentre l'altro diminuisce, ed avviene l'inverso quando la coppia resistente diminuisce. Da ciò risulta che, in questo caso, la coppia motrice resta invariata; e nella prima ipotesi l'armatura tende a fermarsi e nella seconda ad accelerare enormemente.

I motori in derivazione, perciò, per mantenere un andamento stabile, debbono essere alimentati a potenziale costante. Allora, poichè la differenza di potenziale ai serrafili resta inalterata, qualunque sia la intensità derivata dall'armatura, resta invariata la intensità che va nel circuito di eccitazione che è derivato proprio ai serrafili del motore e quindi il flusso φ resta costante.

Allora, con l'aumentare della coppia resistente, l'armatura diminuisce di velocità, diminuisce la forza controelettromotrice, cresce la intensità i che circola attraverso di essa, e, rimanendo inalterato il flusso φ, cresce proporzionalmente la coppia motrice e si rende capace a vincere la nuova coppia resistente senza far continuamente rallentare il motore fino a farlo fermare.

Inversamente, quando diminuisce la coppia resistente l'armatura accelera, la forza controelettromotrice cresce, la intensità i nell'armatura diminuisce, ed il flusso φ attraverso gli induttori restando costante, diminuisce anche la coppia motrice e ciò impedisce che il motore, accelerando sempre, arrivi a velocità incompatibili con la coesione del materiale adoperato.

Qnindi anche il motore in derivazione presenta un andamento perfettamente stabile come quello in serie, e tan-

to l'uno che l'altro possono essere adoperati con sicurezza e non si può temere che essi, per aumenti improvvisi di carico, quando questi non superino la potenza per cui il motore è calcolato, si fermino, o, per diminuzioni di esso, assumino velocità pericolose.

Tanto nel motore in serie quanto in quello in derivazione, per non stare a spostare le spazzole nel caso della inversione del movimento, cosa noiosa, specie nelle applicazioni alla trazione, si adoperano armature a piccola reazione, in modo che lo spostamento delle spazzole risulti ben poca cosa ed allora, confezionandole con carbone, si possono mettere proprio nel diametro teorico di commutazione senza tema di scintillio alcuno anche per la resistenza piuttosto grande che esse presentano e che fa quindi diminuire — come abbiam visto parlando delle dinamo — i fenomeni di extra-corrente che provocano lo scintillio alle spazzole.

RIASSUNTO

I motori con eccitazione in derivazione girano nel medesimo senso delle dinamo. — Per invertire il senso del movimento bisogna invertire il senso della corrente o solo nel circuito induttore o solo in quello indotto. — Nel momento della messa in moto bisogna inserire nel circuito dell' armatura una resistenza addizionale che diminuendo la intensità di corrente in essa eviti degli inconvenienti, ed aumentando la intesità del circuito induttore permetta a questo di determinare un flusso opportuno per avere una coppia motrice elevata, quando l'alimentazione è fatta ad intensità costante.—Quan-

do il motore è alimentato a differenza di potenziale costante la resistenza introdotta nell'armatura serve solo a salvaguardare questa da un eccessivo riscaldamento. — La coppia motrice di avviamento del motore con eccitazione in derivazione, pur essendo elevata, è inferiore a quella del motore eccitato in serie. — Il motore in derivazione presenta anche esso un andamento perfettamente stabile.— Nei motori per evitare gli spostamenti delle spazzole, quando si inverte il movimento, si adoperano armature a piccola reazione e spazzole di carbone situate nel diametro teorico di commutazione.

Capitolo IV.

Motori ad eccitazione composta ed indipendente

Nei motori ad eccitazione composta, prevalendo, come nelle dinamo, la eccitazione in derivazione, prevale il senso di rotazione dovuta a questa, e quindi, inviando in essi una corrente del medesimo segno di quella che genererebbero se agissero da dinamo si ottiene la rotazione nel medesimo senso.

Nei riguardi alla stabilità del funzionamento e della messa in moto valga, quì, quello che si è detto per il motore ad eccitazione in derivazione: nè si può, come parrebbe a prima vista, mettere in moto adoperando solo la eccitazione in serie per avere una coppia motrice al primo distacco fortissima, a meno che non si inverta contemporamente in essa il senso della corrente, perchè, altrimenti, il motore comincerebbe a girare in senso inverso a quello del normale funzionamento. D'altra parte

anche adoperando questo dispositivo, che complica d molto la istallazione, neppure si raggiunge una coppia motrice molto elevata, perchè la eccitazione in serie, da sola, è insufficiente per il regolare funzionamento del motore.

Il motore ad eccitazione indipendente, come funzionamento e come stabilità, rassomiglia molto al motore eccitato in derivazione funzionante con potenziale di alimenzione costante.

In fatti, in questo tipo di motore il flusso φ si mantiene costante qualunque sia il carico a cui esso è sottoposto, perchè viene mantenuto tale mediante una sorgente indipendente di elettricità, e la coppia motrice varia direttamente col variare della intensità nell'armatura. Questa, essendo massima nel momento della messa in moto, determina una coppia motrice massima, sempre però inferiore a quella che si ottiene col motore eccitato in serie, perchè in questo è massima non solo la intensità i ma anche il flusso φ

Anche esso presenta un andamento perfettamente stabile, perchè col crescere della coppia resistente il motore rallenta di velocità, diminuisce la forza controelettromotrice, aumenta la intensità i nell' armatura e di conseguenza aumenta la coppia motrice. L' inverso si ha nel caso di diminuzione della coppia motrice.

RIASSUNTO

I motori ad eccitazione composta girano nel medesimo verso di quando agiscono come dinamo perchè in essi prevale la eccitazione in derivazione.— Nella messa in moto, per avere una coppia motrice molto più elevata, si può far funzionare sem-

plicemente la eccitazione in serie purchè si inverta in essa il senso della corrente, perchè altrimenti il motore comincerebbe a ruotare in senso inverso a quello che dovrebbe mantenere nel normale funzionamento.—Il motore ad eccitazione indipendente presenta anche esso un andamento perfettamente stabile e un andamento analogo al motore ad eccitazione in derivazione.

CAPITOLO V.

Regolazione della velocità

Il problema della regolazione della velocità dei motori è uno dei più interessanti, specialmente nei rapporti della trazione. Esso si propone due scopi da raggiungere: mantenere costante la velocità al variare del carico; far variare la velocità mantenendo costante il carico.

La formola che dà la velocità con la quale un motore si muove è, con grande approssimazione la seguente:

$$n = \frac{E}{\varphi N} \quad \ldots\ldots (1)$$

in cui n rappresenta il numero di giri che l' armatura fa a minuto primo, E la forza elettromotrice impressa ai

(1) La formola completa che dà la velocità del motore si ricava dalle considerazioni che innanzi abbiam fatto. Se E è la differenza di potenziale, mantenuta ai poli dell'armatura, questa, muovendosi, genera una forza controelettromotriee e che ha direzione opposta alla precedente, quindi applicando la legge di Ohm all'armatura in movimento si ha che la intensità che l'attraversa è rappresentata da

$$ri = E - e \qquad (1)$$

in cui r è la resistenza dell'armatura.

D' altra parte e è la forza elettromotrice generata da un' ordinaria

serrafili del motore, φ il flusso che attraversa l'armatura ed N il numero dei conduttori che sono collocati sulla periferia esterna dell'armatura.

Da questa formola si vede che per ottenere una variazione della volocità sia per riportare questa al valore normale, che per farla cambiare di valore, si può agire sulla differenza di potenziale impressa ai poli del motore, sul flusso o sul numero di conduttori che subiscono la

---

dinamo che si muove con la velocità del motore e quindi deve avere per espressione

$$e = nN\varphi$$

e quindi sostituendo questo valore nella (1) si ha

$$ri = E - nN\varphi$$

da cui ricavando il valore di n si ha

$$n = \frac{E - ri}{N\varphi} \qquad (2)$$

In questa formola, che è la completa, trascurando rispetto ad E, forza elettromotrice impressa, la differenza potenziale ri che si perde nella resistenza dell'armatura, si ha la formola approssimata che noi abbiamo dato cioè:

$$n = \frac{E}{N\varphi}$$

E si badi che l'approssimazione è grandissima, perchè di fronte al valore E della forza elettromotrice impressa, che è sempre elevata, si trascura una quantità che è rappresentata dal prodotto di una resistenza r di armatura che è piccolissima per la intensità che l'attraversa nell'ordinario funzionamonto.

Così, supponendo di alimentare un motore con una differenza di potenziale di 500 volt, e supponendo anche una intensità di 50 ampère attraverso l'armatura di resistenza 0,1 di Ohm si ha un errore di $50 \times 0{,}1 = 5$ volt su 500, cioè un errore dell' 1 % nel valore della velocità. E si badi che noi ci siamo messi in questo esempio in condizioni assolutamente sfavorevoli alla tesi che volevamo sostenere.

induzione; ponendo mente che la velocità varia in modo direttamente proporzionale col primo fattore, ed inversamente con gli altri due.

Naturalmente, il modo di effettuare questa regolazione varia secondo il tipo di eccitazione che si adopera ed a secondo che si debba regolare la velocità solo in un motore o in più motori assieme collegati, come avviene nella trazione elettrica.

Ma nello studio della regolazione bisogna badare anche al rendimento e quindi -- a parità di condizioni nel resto — bisogna preferire quel sistema che risolve il problema con il massimo rendimento. E talvolta si rinunzia ad una regolazione molto graduale della velocità pur di ottenere un rendimento elevato nella trasmissione che si considera.

La regolazione della velocità varia anche col tipo di distribuzione che si adopera: essa deve essere fatta in diverso modo in una distribuzione a potenziale costante ed in una ad intensità costante: e noi, per ciascun tipo di motore, studieremo i due casi, partendo sempre dal primo che è quello che più generalmente trova la sua applicazione negli impianti elettrici moderni.

RIASSUNTO

La regolazione della velocità serve o a mantenere costante questa al variare della coppia motrice, o a variarla mantenendosi quest' ultima costante. — Si può ritenere con grande approssimazione che la velocità cresca proporzionalmente con la differenza di potenziale mantenuta ai serrafili del motore ed inversamente col flusso e col numero dei conduttori del circuito indotto. — La re-

golazione di velocità dipende dalla costanza o meno della differenza di potenziale di alimentazione, dal tipo di eccitazione adoperato, dal numero di motori che si debbono regolare e dal rendimento che si vuole ottenere.

CAPITOLO VI.

Regolazione mediante variazione del potenziale di alimentazione

La variazione del potenziale di alimentazione dei motori si ottiene mediante la inserzione in serie coi motori — di resistenze, che portano, per tale ragione, il nome di RESISTENZE REGOLATRICI.

Esse, essendo inserite in serie col motore sulla linea di distribuzione, assorbono una differenza di potenziale eguale al prodotto della intensità per la loro resistenza, e fanno agire il motore sotto la massima differenza di potenziale, che è eguale a quella normale di distribuzione, quando sono del tutto escluse.

Con questo sistema non si può, quindi, che diminuire il valore della differenza di potenziale di alimentazione, includendo in serie con il motore delle resistenze variabili. Si potrebbe anche aumentare la differenza di potenziale di alimentazione, facendo funzionare, nei momenti opportuni, una SURVOLTRICE, ma, praticamente, a questo ripiego non si ricorre mai per la complicazione della istallazione e per la impossibilità di un funzionamento razionale.

La regolazione, ottenuta con la variazione del potenziale di alimentazione mediante le resistenze di regolazione, è poco economica, perchè si ottiene perdendo quella energia, che si consuma nelle resistenze stesse, senza po-

tersi utilizzare, e che si trasforma unicamente in calore. Essa, però, permette di ottenere una scala dolcissima di variazione di velocità, specialmente nel motore ad eccitazione in serie, e, nel caso della trazione tramviaria, ciò è assolutamente necessario.

1.° Motore ad eccitazione in serie. — Un motore eccitato in serie non può essere alimentato ad intensità costante, perchè, in tal caso, rimangono invariati flusso ed intensità e per conseguenza anche la coppia motrice, ed il motore perde completamente la stabilità del suo funzionamento, perchè non può far variare la coppia motrice proporzionalmente a quella resistente, e tende a fermarsi o ad accelerare infinitamente la sua velocità. Il motore in serie, quindi, deve esser alimentato a potenziale costante. E la regolazione della velocità la si ottiene facendo variare il valore costante di questo potenziale per le diverse finalità che si vogliono raggiungere. Una variazione nella differenza di potenziale di alimentazione produce una variazione nella forza controelettromotrice generata, e quindi una variazione proporzionale inversamente nella intensità che circola negli avvolgimenti tutti. Ma se si considera, d'altra parte, che la variazione di differenza di potenziale si è ottenuta mediante la inserzione di una resistenza che ha provocata una variazione diretta nella intensità della corrente, si conclude che questa, prima e dopo, resta invariata nel suo valore. Restando costante la intensità, resta costante il flusso ed allora la variazione nel potenziale di alimentazione provoca la variazione proporzionale nella velocità.

Sopponiamo, invece, che la coppia resistente, variando, determini una variazione nella velocità e che si voglia riportare questa al valore che aveva prima della variazione della coppia. Col medesimo artifizio possiamo riportare la velocità al valore che prima aveva.

Consideriamo prima il caso in cui la coppia resistente diminuisce ed il motore, in conseguenza, trovando meno resistenza a muoversi, aumenti la sua velocità. L'aumento di velocità determina una diminuzione nella intensità per l'aumento della forza contro-elettromotrice e quindi una diminuzione della coppia motrice: ed in tal modo il motore acquista un andamento stabile. Ciò premesso, in questo nuovo regime inserendo una resistenza non facciamo altro che, mantenendo costante la nuova intensità, far variare la velocità per la variazione del potenziale di alimentazione, come nel caso precedente.

La regolazione del motore in serie si riduce, quindi, a mantenere costante la intensità del motore nell' istante in cui si vuole agire sulla velocità, in modo che la coppia motrice si mantenga invariata nell'istante in cui si provvede alla regolazione.

Questa, quindi, si ottiene non con intensità costante, perchè essa varia da caso a caso, permettendo di raggiungere le coppie motrici necessarie, ma con intensità che si mantengono le stesse prima e dopo che si è provveduto alla regolazione in parola.

Lo stesso ragionamento si fa quando il motore, per un aumento della coppia resistente, diminuisce la sua velocità; e si arriva alla conclusione, che, dovendo aumentare il potenziale di alimentazione, si debbono escludere le resistenze di regolazione. Però, in questo caso, non si può andare al di là delle resistenze che si hanno a disposizione, e se la coppia resistente è molto forte e non si ha a disposizione una survoltrice, il motore finisce col rallentare la velocità, e, se il valore di quella è eccessivo, il motore può anche arrestarsi, perchè non calcolato per la potenza che dovrebbe sviluppare.

Per quanto riguarda rendimento complessivo della istallazione conviene osservare che il sistema di regolazione,

che risulta più razionale è quello a POTENZA COSTANTE: esso si ottiene facendo variare la velocità in ragione inversa della coppia resistente e quindi della coppia motrice, perchè, in tal caso, si mantiene costante la potenza richiesta dell' officina di produzione (1), che si fa lavorare con un diagramma meno accidentato. E noi sappiamo che, quanto più costante è il diagramma di potenza di una officina di produzione, a qualunque sistema essa appartenga, tanto più alto è il rendimento che, dal complesso dell' impianto, si può sperare.

In pratica, però, raramente, si ricorre a questo sistema, perchè nei motori, che sono collegati a macchine operatrici, si ha bisogno di mantenere, il più che sia possibile, costante la velocità, mentre in quelli adoperati per la trazione, specialmente urbana, si ha bisogno di una scala dolcissima di variazione di essa, in modo da rispondere a tutte le esigenze che in questo importantissimo servizio si richiedono.

Ed il motore eccitato in serie è quello che meglio si presta a questo requisito, ed è quello che più comunemente si adopera a tale scopo, perchè, oltre a possedere una elevatissima coppia motrice nel momento dell' avvia-

---

(1) Infatti dalla espressione della coppia motrice che è

$$C = fd$$

Si vede che il prodotto suo per la velocità

$$Cv = fdv = f\frac{dn}{60}$$

è proporzionale alla potenza che è espressa da

$$\frac{\pi fdn}{60} = ei$$

e quindi mantenendosi quello costante si mantiene costante anche questa.

mento, che permette di vincere fortissimi coppie resistenti di primo distacco, come in un capitolo precedente abbiamo esaminato, può assumere variissimi valori di velocità con la variazione del potenziale di alimentazione. Che anzi, se questo si facesse variare con legge di continuità, facendo variare per gradi infinitesimi la resistenza di regolazione, si potrebbe o mantenere perfettamente costante la velocità al variare della coppia resistente, o far variare per gradi insensibili la velocità, rimanendo costante quest' ultima.

In pratica, però, non si arriva a questa suddivisione della resistenza regolatrice, che rappresenterebbe una inutile complicazione, ma si dànno ad essa quattro o cinque valori in modo da ottenere una regolazione completa, specie quando a questo sistema si aggiunge il diverso accoppiamento dei motori quando non uno solo di essi deve servire al lavoro che si compie. Di questo speciale sistema di regolazione che è conosciuto sotto il nome di REGOLAZIONE SERIE-PARALLELO, e che è basato anche sulla variazione del potenziale di alimentazione — perchè quando passiamo dalla unione in serie di due motori identici a quella in parallelo, mantenendo inalterato il potenziale di alimentazione, veniamo a raddoppiare quello ai poli di ciascuno di essi — parleremo in un capitolo a parte quando studieremo l' accoppiamento dei motori per la trazione elettrica.

2.° MOTORI AD ECCITAZIONE IN DERIVAZIONE.—La regolazione dei motori con eccitazione in derivazione ha bisogno di qualche considerazione diversa di quelle che abbiamo fatto studiando i motori eccitati in serie.

La diversità del comportamento dipende dal diverso modo di collegamento dei circuiti. Mentre nel motore in serie la variazione di potenziale di alimentazione si risente agli estremi del circuito unico di eccitazione e

di armatura, in quello in derivazione si risente tanto ai poli del circuito derivato che a quello del circuito dell' armatura, facendo variare proporzionalmente anche la intensità di eccitazione e per conseguenza il flusso.

Da questa considerazione risulta evidente la conseguenza, che, avendosi, per una variazione della differenza di potenziale di alimentazione, una variazione corrispondente del flusso, ed avendo questo un effetto nei riguardi della velocità completamente contrario a quello determinato dalla prima, la velocità si mantiene sensibilmente costante per variazioni nel potenziale di alimentazione abbastanza forti, ed il motore si regola automaticamente.

Il motore in derivazione, per questa proprietà, trova razionale adozione nelle macchine utensili, e nelle lunghe linee ferroviarie o tramviarie interurbane, nelle quali si ha bisogno di questa costanza anche quando il potenziale si abbassi sensibilmente come avviene agli estremi di una lunga linea.

Però, questa diminuzione di potenziale non deve risultare eccessiva, perchè altrimenti la coppia motrice diminuirebbe molto e il motore finerebbe col fermarsi.

Ma vi è un ripiego per ottenere una variazione di velocità sempre però fra limiti molto più ristretti di quelli che si sono riscontrati possibili con la eccitazione in serie.

Il flusso è in dipendenza della permeabilità del mezzo attraverso cui le linee di induzione si propagano: esso cresce proporzionalmente alla permeabilità ed alla intensità della corrente magnetizzante, però non seguendo una legge lineare. Quando aumenta la intensità della corrente magnetizzante, al di là di un determinato limite, la intensità di magnetizzazione ha un limite oltre il quale si arresta, e la energia, che si continua a fornire al circuito,

si tramuta tutta in energia termica, e si dice allora che il mezzo ha raggiunto la sua SATURAZIONE.

Partendo da questa considerazione si può arrivare alla regolazione dei motori in derivazione, adoperando, pei nuclei della eccitazione, un materiale che si SATURI per piccole intensità di corrente, perchè allora, raggiunta la saturazione, le variazioni del potenziale di alimentazione, pur provocando delle variazioni nella intensità di eccitazione, non determinano cambiamento nella magnetizzazione dei nuclei, e quindi del flusso, che, rimanendo costante, non può impedire la variazione della velocità.

Questo sistema, però, non permette quella rapida e graduale variazione che si poteva ottenere con il motore eccitato in serie, e rende questo tipo disadatto alla trazione urbana nella quale non si può fare a meno di essa.

4.° MOTORI AD ECCITAZIONE INDIPENDENTE. — In questi motori la eccitazione, mantenendosi distinta dalla corrente di alimentazione, si può conservare perfettamente costante, ottenendosi costatante il flusso attraverso l'armatura.

Variando il potenziale di alimentazione dell'armatura mediante inserzione di resistenze, come innanzi abbiamo esaminato, si ottiene l'identico fenomeno, che avevamo nel motore ad eccitazione in serie, di una regolazione graduale della velocità.

5.° MOTORI AD ECCITAZIONE COMPOSTA. — Questi motori non hanno bisogno di speciali regolatori, ma mantengono costante la velocità, più di quello che non facciano i motori eccitati in derivazione, qualunque sia il modo come venga provveduto alla eccitazione e qualunque sia il sistema di avvolgimento delle spirali inducenti in serie. Essi, quindi, non si adoperano che solo nel caso in cui si abbia bisogno di realizzare questa costanza che è superiore a quella di tutti gli altri tipi di motori che si conoscono nell'industria.

RIASSUNTO

La regolazione mediante la variazione del potenziale di alimentazione si ottiene mediante la inserzione in serie col motore di una resistenza regolatrice. — Nel motore eccitato in serie con questa inserzione rimanendo costante la intensità della corrente, proporzionalmente al variare della differenza di potenziale di alimentazione varia la velocità. — Suddividendo la resistenza regolatrice in varie parti si può ottenere una scala dolcissima di valori della velocità. — Quando si hanno più motori, si può raddoppiare o triplicare ecc. la velocità passando dalla riunione in serie a quella in parallelo con la quale si raddoppia, si triplica ecc. la differenza di potenziale ai poli di ciascuno: questo sistema di regolazione viene conosciuto sotto il nome di regolazione serie-parallelo. — La regolazione più economica è quella a potenza costante che si ottiene facendo variare la velocità inversamente alla coppia motrice per mantenere il carico dell'officina di produzione quasi costante. — I motori con eccitazione in derivazione, tranne che per fortissime cadute di potenziale, sono autoregolatori, mantenendo invariata la velocità. — Si può ottenere una variazione della velocità con inserzione di resistenze in serie quando i nuclei degli induttori si saturano per piccole intensità, però non si arriva mai ad ottenere la dolcezza della regolazione

che si ottiene coi motori eccitati in serie. — I motori con eccitazione composta sono autoregolatori. — I motori con eccitazione indipendente si comportano per la regolazione come i motori in serie.

Capitolo VII.

Regolazione mediante variazione di flusso

La regolazione ottenuta mediante la variazione del flusso può assumere diverso aspetto sia come dispositivo che come elementi sui quali si fonda, perchè il flusso, dipendendo dalla eccitazione e questa essendo variabile per due elementi, numero di spire ed intensità della corrente che in esse circola, può dar luogo a sistemi di regolazione basati sulla variazione dell'uno o dell'altro fattore

a) *Variazione della intensità.*

La regolazione che si basa sulla variazione della intensità di eccitazione è poco economica, perchè presuppone l'adozione di resistenze nel circuito di eccitazione, nelle quali si deve perdere una porzione di energia sotto forma di calore. Anche però in questa regolazione si deve procedere diversamente a seconda del sistema di motore che si ha a disposizione.

Nei motori eccitati in serie la resistenza regolatrice si dispone in parallelo sulle spirali induttrici, in modo che, a misura che se ne diminuisce il valore, aumenti la intensità in essa derivata e diminuisca quella che va nelle spirali magnetizzanti, ottenendosi, proporzionalmente alla diminuzione di flusso, l'aumento della velocità.

Però bisogna — e questo vale per tutti i sistemi di re-

golazione che si fondano sulla diminuzione del flusso e per tutti i sistemi di eccitazione — che questo non scenda al di sotto di un determinato limite, oltre del quale, predominando enormemente la reazione dell'armatura, si otterrebbe un fortissimo scintillio sotto le spazzole, scintillio che non si arriverebbe ad eliminare anche spostandole di molto rispetto al diametro teorico di commutazione ed un funzionamento irregolare del motore che non può agire con un campo induttore inferiore ad un determinato valore.

Nei motori eccitati in derivazione, invece, la resistenza di regolazione si inserisce in serie con l'avvolgimento di eccitazione, e, aumentando o diminuendo il suo valore, si diminuisce o aumenta il flusso e proporzionalmente accresce o diminuisce la velocità.

Nei motori ad eccitazione indipendente o si modifica il potenziale che si ha a disposizione ai poli della eccitazione modificando la eccitazione della macchina eccitatrice o l'accoppiamento degli accumulatori che servono a questo scopo, oppure si varia la intensità che circola nella eccitazione con la inserzione di resistenze che producono il medesimo effetto.

Ma la variazione della intensità di eccitazione si può raggiungere in un modo molto razionale ed economico nel tempo stesso, perchè ottenuta senza nessuna resistenza addizionale, o riducendo questa al minimo valore possibile.

Questo sistema consiste nel dividere le spirali induttrici in varie sezioni, che, variamente aggruppate, fanno circolare attraverso di esse una intensità più o meno forte.

Noi sappiamo che quando fra due punti, mantenuti a costante differenza di potenziale, inseriamo in parallelo più resistenze, la resistenza complessiva che esse presentano diminuisce proporzionalmente col crescere del numero dei circuiti derivati. Se, quindi, dividiamo le spirali

induttrici in diverse parti, eguali di resistenza, fino a che esse si trovano inserite in serie si ha la minima intensità di corrente che le attraversa; a misura che un determinato numero si riuniscono in parallelo e si congiungono in serie alle rimanenti si ottiene un' aumento nella intensità che arriva al massimo valore quando tutte le sezioni sono riunite fra loro in parallelo.

Questo sistema è il più razionale di quelli che si conoscano basati sulla variazione di flusso. Però, in tutti i sistemi poggiati su questo principio, bisogna tener presente le condizioni di saturazione di nuclei senza di che non si arriva a nessuna conclusione decisiva.

La variazione dell' intensità di eccitazione provoca variazione nel flusso fino a che i nuclei non sono saturati, raggiunta la saturazione non si determina più alcuna variazione nel flusso e quindi nella velocità. Per ottenere, quindi, una regolazione basata sulla variazione di flusso bisogna adoperare, pei nuclei degli induttori, un materiale che si saturi per la massima intensità raggiungibile, ossia nel caso di regolazione con resistenze, quando queste siano completamente escluse, e nel caso di accoppiamento delle spirali induttrici, quando tutte le sezioni siano riunite in parallelo.

b) *Variazione del numero delle spire inducenti.*

Il sistema che or ora abbiamo esaminato e che si basa sul sezionamento del circuito inducente può avere un'altra applicazione, meno razionale, però, della precedente, e che consiste nel diminuire il numero delle spirali attraverso cui si fa passare la corrente.

Abbiamo detto meno razionale, e dobbiamo aggiungere anche meno economico, perchè non si riduce solo a questo il sistema di regolazione in parola, ma esso ha bisogno ancora della inserzione di resistenze estranee all' eccitazione, perchè altrimenti da una parte si avrebbe dimi-

nuzione nel numero delle spire, ma dall'altra si avrebbe diminuzione proporzionale della resistenza, e, quindi, aumento della intensità ed il prodotto delle spire-ampère resterebbe costante e costante quindi anche la eccitazione, il flusso e la velocità.

Le resistenze, che si aggiungono all'esterno, ma in serie con l' eccitazione, debbono essere eguali a quelle delle spirali che vengono escluse dal circuito, e ciò per mantenere identico il valore della intensità, ottenendosi però in esse perdite per energia trasformata in calore inutilizzabile.

La variazione di flusso può anche ottenersi mediante variazione dell' interferro nell' identico modo che si è visto adoperarsi per le dinamo, ma anche in questo caso, oltre al forte scintillio, si ha un basso rendimento dovuto all'aumentata resistenza magnetica.

RIASSUNTO

La regolazione mediante la variazione di flusso si può ottenere sia facendo variare la intensità di eccitazione che il numero di spire di questa. — La variazione della intensità di eccitazione si ottiene nei motori con eccitazione in serie derivando una resistenza sugli estremi del circuito di eccitazione ; resistenza che si inserisce in serie con la eccitazione nei motori con eccitazione in derivazione. — La variazione della intensità di eccitazione si può ottenere anche variamente raggruppando le diverse sezioni in cui è suddiviso il circuito di eccitazione. — In tutti i casi i nuclei degli induttori debbono saturarsi solo per la massima

intensità raggiungibile. — La regolazione con variazione del numero delle spire induttrici si ottiene escludendo alcune sezioni dal circuito e sostituendole con resistenze equivalenti esterne per evitare contemporaneamente una variazione nella intensità.

Capitolo VIII.

Regolazione ottenuta variando il numero dei conduttori dell' armatura o dei poli induttori

Col variare il numero dei conduttori disposti sulla periferia dell'armatura varia il numero delle spirali che nel movimento generano correnti indotte e quindi varia la forza controelettromotrice che si genera.

Proporzionalmente al crescere dei conduttori diminuisce la velocità, ed inversamente. Però si comprende facilmente come questo sistema di regolazione non permette di raggiungere al massimo che un regime di due velocità, perchè per ciascuna di esse sul nucleo dell' armatura si deve avvolgere un circuito indipendente col relativo collettore sezionato.

Si ha, quindi, da una parte, complicazione di costruzione, per la difficoltà del duplice avvolgimento, e dell'altra poco rispondenza agli ordinari bisogni della regolazione; e per tale ragione questo sistema non trova applicazione che in casi speciali in cui si abbia bisogno di due velocità sensibilmente di valore differente.

Può aversi, però, un altro sistema di regolazione basato sulla variazione del numero dei poli del circuito induttore, e ciò si può ottenere solo nei motori multipolari. Passando per esempio da un avvolgimento a quattro poli ad un avvolgimento a due poli e mantenendo costante la differenza di potenziale ai poli otteniamo lo stesso effetto

che si raggiungerebbe variando la differenza di potenziale ai poli del motore, e si ottiene per tale ragione la variazione della velocità dell' armatura.

Anche in questo sistema di regolazione si riscontrano due inconvenienti gravissimi, che non lo hanno fatto generalizzare molto, grande scintillio alle spazzole nella diminuzione delle coppie polari, rendimento molto basso, e salti di velocità troppo bruschi e non graduali

RIASSUNTO

La regolazione per variazione del numero dei conduttori indotti si ottiene avvolgendo sull'armatura due o più circuiti indipendenti muniti ciascuno del proprio collettore. — In pratica non si adoperano più di due avvolgimenti distinti. — Si può ottenere anche uua variazione nella velocità facendo variare il numero dei poli del circuito induttore, però ottenendosi un basso rendimento e un forte scintillio alle spazzole.

PARTE NONA

MOTORI A CORRENTE ALTERNATA

I

Motori Asincroni

CAPITOLO I.

Motori a campo rotante

La più grande scoperta del secolo scorso può ritenersi, a ragione, quella del CAMPO ROTANTE dovuta all'immortale Galileo Ferrari, così immaturatamente rapito alla scienza e di cui l'Italia ancora rimpiange la perdita.

La scoperta del Ferraris è una di quelle non dovute al caso, nè ad un momento di geniale concezione, ma è la sintesi meravigliosa avvenuta nella mente del poderoso ricercatore, che ritrova un novello legame fra i fenomeni luminosi e quelli elettrici.

Se si inviano due correnti alternate in quadratura, cioè due correnti date da un ALTERNATORE BIFASE, in due rocchetti disposti normalmente, si hanno due campi magnetici normali, di intensità variabile dallo zero ad un massimo per poi ritornare allo zero e percorrere i valori eguali ma di segno contrario.

I due campi magnetici normali si compongono, dando ad ogni istante un campo risultante, che si ottiene con la composizione geometrica dei valori istantanei delle due componenti.

Vediamo che cosa succede al variare dei valori istantanei. Essendo le due correnti di eccitazione in quadratura, anche in quadratura si troveranno i campi da esse creati. Per vedere, quindi, il modo di comportarsi della risultante cominciamo ad esaminare l'istante in cui uno dei campi passa per lo zero, e l'altro per conseguenza passa pel valore massimo.

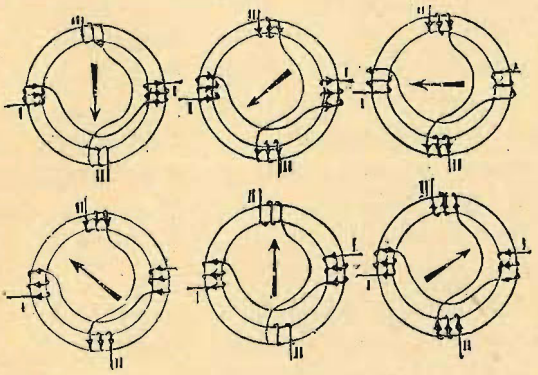


Figura 36.ª

In questo istante il campo risultante ha la direzione e la grandezza della intensità massima del campo che non si annulla. Nell'istante successivo il primo campo comincia ad assumere valori positivi, mentre il secondo pure rimanendo positivo comincia a decrescere il valore.

Dopo un determinato tempo, diminuendo uno dei campi e crescendo l'altro si arriva all'istante in cui i due campi hanno raggiunto un valore eguale, ed allora la risultante prende la direzione della bisettrice dell'angolo retto, ossia si troverà ad un ottavo di giro distante dalla prima posizione e se si fa la composizione geometrica si vede che la grandezza assoluta della risultante si conserva in valore eguale al valore massimo di uno dei campi componenti.

Dopo un quarto di periodo il primo campo sarà diventato eguale a zero, ed il secondo, di direzione normale al precedente, avrà raggiunto il valore massimo, e quindi la risultante, conservando il medesimo valore assoluto, si troverà a novanta gradi dalla posizione precedente.

Continuando l'esame, si vede che il campo, che ora si è annullato, comincia ad assumere valori negativi, mentre quello che ha raggiunto il massimo comincia a diminuire e quando i campi riacquistano il medesimo valore la risultante sarà spostata di un ottavo di giro dal precedente e di 135° dalla prima posizione. E così dopo mezzo periodo la risultante risulta a 180° dalla primitiva posizione, sempre mantenendosi, come grandezza assoluta, eguale al valor massimo di uno dei campi componenti, fino a che alla fine del periodo essa ritorna novellamente alla posizione primitiva.

Se si eseguono le composizioni geometriche, si vede che la risultante, mantenendosi sempre costantemente eguale in grandezza a questo valore, gira continuamente nel piano assumendo tutte le direzioni possibili ma con continuità di movimento, nei quattro angoli retti.

Il campo magnetico risultante, quindi, è un campo di grandezza costante ma di direzione rotante, e perciò dal Ferraris venne chiamato CAMPO MAGNETICO ROTANTE o semplicemente CAMPO ROTANTE, mentre dagli elettricisti del mondo intero viene, ora, concordemente, chiamato CAMPO FERRARIS per onorare il sommo scienziato e per reazione contro i soliti tentativi di affibbiare a persone esotiche la gloria delle più belle scoperte del genio Italiano.

Il campo magnetico rotante produce nello spazio lo stesso effetto che produrrebbe una calamita di intensità costante, che ruotasse intorno ad un asse.

Per comprendere facilmente in che modo possa da questo campo Ferraris ottenersi un motore elettrico, ricordiamo

una esperienza dovuta ad Ampère, e che vien riportata in tutti i corsi di Fisica i più elementari: vogliamo parlare del disco rotante di Ampère.

Se noi mettiamo in movimento un disco di rame innanzi alle branche polari di una calamita che sia bilicata su un asse in modo da poter ruotare, per le correnti indotte — che sono vere correnti di Foucault — che si determinano nel disco di rame, e per le reazioni che si hanno fra il campo magnetico creato da queste correnti e quello della calamita, queste viene trascinata nel movimento e segue la rotazione del disco.

Se invece si facesse rotare la calamita, il movimento relativo rimanendo lo stesso, si determinerebbero le medesime reazioni che trascinerebbero nel movimento il disco di rame. Il campo Ferraris, producendo lo stesso effetto della calamita rotante, deve mettere in movimento un disco od anche un cilindro di rame che si trovi situato simmetricamente ai due circuiti normali attraversati dalle correnti alternate, ossia che si trovi al vertice dell'angolo retto formato dagli assi dei due circuiti che si considerano.

E questo fu proprio il primo esperimento del Ferraris i cui cimeli vennero esposti all'Esposizione di Como. Due spirali normali l'una all'altra erano attraversate da correnti in quadratura, ottenute mediante speciali dispositivi, non essendosi ancora a quell'epoca inventati gli alternatori polifasi, e nel mezzo vi era un cilindro di rame che mettevasi in movimento rotatorio appena le due correnti erano inviate nelle spirali che costituivano il campo rotante.

Questo movimento, determinato dal ruotare del campo magnetico, segue questo con perfetta continuità ma con un po' di ritardo dovuto agli attriti. Questo anticipo della corrente alternata di alimentazione rispetto alla

rotazione della parte mobile vien conosciuta sotto il nome di *slipp* italianizzato in SCORRIMENTO.

Questo scorrimento può essere maggiore o minore secondo le resistenze che la parte mobile incontra nel suo movimento, e questa può girare a diverse velocità, e non deve mantenere assolutamente una velocità eguale al numero di alternative della corrente, perciò questo tipo di motore è conosciuto sotto il nome di MOTORE ASINCRONO.

Da questo tipo, che rappresenta la riconferma sperimentale della concezione del Ferraris, si è arrivato al giorno di oggi alla perfezione nella costruzione trasformandosi completamente per essi la industria elettrica dell' epoca presente.

La intensità del campo era piccolissima attraverso la parte mobile per la piccola permeabilità del rame, ed allora si pensò a sostituire il cilindro di rame con un cilindro di ferro laminato sottilmente per impedire la generazione di correnti di Foucault, e su di esso sono disposti i conduttori di rame lungo le generatrici. Essi vengono chiusi al di sopra e a di sotto da due conduttori di rame, in modo da aversi una specie di gabbia di uccelli: ed in questi conduttori si generano le correnti indotte che determinano la rotazione.

Quello che si è detto per due circuiti attraversati da due correnti in quadratura, vale anche per tre circuiti disposti a 120° attraversati da tre correnti a 120° anche esse, e anche in questo caso si arriva alla conclusione della determinazione di un campo magnetico di intensità costante ma di direzione rotante, ossia di un campo magnetico Ferraris.

RIASSUNTO

Il campo rotante è un campo che si mantiene costante come grandezza, ma come direzione gira continuamente nel piano, intorno ad un centro che è il punto di intersezione dei due campi alternativi in quadratura o dei tre campi a 120 gradi dalla cui composizione esso risulta. — Il campo rotante produce lo stesso fenomeno che produrrebbe una calamità prismatica che ruotasse nel medesimo verso.— Disco rotante di Ampère. — Per effetto degli attriti meccanici ed elettrici il movimento del circuito indotto segue con ritardo il movimento del campo.— I motori a campo rotante sono motori asincroni.

CAPITOLO II.

Particolarità dei motori a campo rotante

I motori a campo rotante, da quello che abbiam detto, hanno i due circuiti inducente ed indotto completamente indipendenti l'uno dall'altro, e la rotazione si ottiene per le azioni elettrodinamiche che si sviluppano senza bisogno di collettori, di spazzole, nè di serrafili sul circuito indotto cosa che rappresenta un grande vantaggio su tutti gli altri tipi di motori finora esaminati, perchè elimina del tutto la possibilità dello scintillio e quindi di incendi nei locali in cui si trovano materie facilmente accensibili.

Il circuito indotto ha sempre la forma cilindrica, mentre il circuito inducente mantiene o la forma di un anello sul quale sono avvolti i fili dei due o tre circuiti secondo che si tratti di motore a corrente bifase o a corrente trifase o anche di un cilindro.

Il circuito inducente , detto anche STATOR O STATORE, può anche avere gli avvolgimenti su espansioni polari che si trovano affacciate all'armatura che viene chiamata anche ROTOR O ROTORE.

Il nucleo dello STATORE deve essere laminato anch'esso per le correnti di Foucault che vi si generano per effetto delle correnti alternate che circolano nelle spirali su di esso avvolte e deve essere costituito da ferro dolcissimo, ed adoperarsi una induzione non troppo elevata (intorno a 7000 unità C. G. S.) per diminuire le perdite per ISTERESI

Il nucleo del circuito indotto è laminato anch' esso, per la medesima ragione, e gli avvolgimenti sono, quasi sempre, infilati in fori fatti lungo la periferia dell' armatura, e ciò per avere il minimo interferro possibile.

Gli avvolgimenti indotti, perfettamente chiusi su loro stessi, possono essere o unici, o anche divisi in due o tre circuiti chiusi, ma indipendenti l'uno dall'altro.

Vedremo, però, come anche in questi motori si adoperino circuiti aperti che terminano a collettori per ottenere una coppia nell'avviamento più forte dell'ordinaria.

La coppia motrice dipende dall'azione reciproca dei due campi magnetici ed essa risulta massima quando la velocità del motore raggiunge il SINCRONISMO, ossia quando esso compie un numero di giri eguale al numero di alternative della corrente alternata.

Da ciò risulta che il motore al momento dell' avviamento presenta una coppia motrice molto più bassa di quella che ha in normale funzionamento, e, per tale ragione, esso si addimostrebbe inferiore al motore eccitato in serie ed alimento dalla corrente continua, che vedemmo avere nel momento della messa in moto la massima coppia realizzabile.

Per eliminare questo inconveniente si sogliono dividere gli avvolgimenti indotti in tante parti quanti sono le cor-

renti di alimentazione, cioè in due parti disposte normalmente, o tre disposte a 120° secondo che si tratti di correnti bifasi o trifasi, e gli estremi si uniscono ad anelli conduttori calettati sull'asse su cui si fanno poggiare le spazzole che mettono in comunicazione questi circuiti con resistenze esterne.

Queste, nel momento dell' avviamento, aumentano di molto la coppia motrice in modo da portarla ad un valore più elevato di quello che primo si aveva, ma non da farle assumere il valore massimo come nel motore in serie.

Tanto le connessioni delle resistenze incluse nel circuito indotto per l'avviamento — e che si escludono appena avvenuta la messa in moto — quanto quelle del circuito inducente si possono eseguire sia a stella che a poligono, come avviene nei generatori.

Se i motori a campo rotante acquistano una velocità superiore a quella del sincronismo, allora invece di funzionare come ricevitrici di corrente funzionano da generatrici inviando corrente sulla linea invece di riceverne.

Questo tipo di motori è, quindi, prezioso per la trazione elettrica, perchè permette nelle discese di utilizzare la energia che si ottiene nel movimento di rotazione dell'armatura dovuto alla gravità che fa discendere la vettura pel proprio peso.

È inutile dire che può aversi il movimento tanto dell'armatura quanto del circuito inducente, perchè questo è dovuto all' azione reciproca dei due campi magnetici, e, quindi, se si tien ferma l' armatura impedendole di muoversi ed invece si caletta su un asse mobile il circuito inducente a cui si fanno arrivare per mezzo di spazzole e di anelli calettati su di esso le correnti alternate, opportunamente spostate di fase, si ha la manifestazione del movimento in quest'ultimo circuito.

L'avviamento del motore può avvenire anche sotto carico, purchè la coppia resistente di primo distacco non sia superiore alla coppia motrice, ed il motore presenta un andameto stabile, perchè tende ad aumentare la coppia motrice al crescere di quella resistente e viceversa. Quando però questa comincia a diventare troppo eccessiva il motore continuamente rallentando finisce col fermarsi.

RIASSUNTO

Particolarità costruttorie dei motori a campo rotante. — I due circuiti inducente ed indotto sono del tutto indipendenti. — I due nuclei debbono essere laminati per evitare le correnti di Foucault.— La massima coppia motrice si ha quando il motore raggiunge la velocità del sincronismo. — Per aumentare la coppia motrice nella messa in moto si inseriscono nei circuiti indotti mediante anelli e spazzole delle opportune resistenze. — I motori a campo rotante quando acquistano una velocità superiore al sincronismo diventano generatori.

CAPITOLO III.

Regolazione della velocità nei motori a campo rotante

I motori a campo Ferraris, quantunque motori asincroni, e potendo, perciò, funzionare a diverse velocità, tendono a mantenersi in una velocità vicina a quella del sincronismo quando il carico resistente non superi di molto il valore normale.

Essi, quindi, si comportano come i motori eccitati in derivazione, che presentano una simile costanza nella velocità.

Dipendendo, per tale ragione, la velocità direttamente dalla frequenza delle correnti alternate di alimentazione, e quindi dalla frequenza del campo rotante, che esse generano , si deve influire sia direttamente che indirettamente su di essa per poter ottenere la variazione della velocità.

La variazione diretta della frequenza della corrente di alimentazione la si ottiene facendo variare la velocità della macchina generatrice oppure il numero di poli induttori che in essa si trovano, ma tale sistema porterebbe al disquilibrio di tutta la distribuzione per la regolazione di un solo motore. Potrebbesi provvedere a tale variazione indipendentemente dalla generatrice istallando in vicinanza della macchina, che deve regolarsi, un gruppo motore alternatore, entrambi polifasici, e quest'ultimo con la possibilità di veder variare il numero dei poli del circuito induttore.

Si può ottenere lo stesso effetto variando invece il numero dei poli del circuito induttore del motore a campo rotante che si vuol regolare. Ma, tanto con questo sistema , come con quello precedentemente menzionato, non si arrivano ad ottenere che un paio di velocità di regime, complicandosi enormemente le condizioni dell' impianto ed ottenendosi un funzionamento per niente regolare nè economico.

La variazione indiretta della frequenza del campo rotante la si può ottenere quando si hanno a disposizione due motori che debbono azionare il medesimo meccanismo, facendo in modo che il primo motore riceva le correnti opportunamente spostate di fase dalla linea, ed abbia il suo indotto che invii le correnti in esso determi-

natesi, e che presentano i medesimi spostamenti in valore assoluto, nei circuiti del secondo motore. Tale riunione dei motori porta il nome di riunione in TANDEM o in CASCATA, e quando si obbligano i due assi motori a fare il medesimo numero di giri, passando dall' alimentazione solita a questa in cascata si ottiene la riduzione della velocità a metà, perchè la frequenza che in questo caso si ha nel campo rotante è appunto la metà di quella che sarebbe con la connessione ordinaria.

I motori a campo rotante, per la costanza che presentano nella velocità, e per la proprietà che hanno di fornire un ricupero di energia abbastanza forte sulle lunghe linee di trazione con forti pendenze, trovano splendida applicazione negli impianti di linee elettriche ad altissimo potenziale anche perchè in esse si può fare a meno di abbassare il potenziale sulla linea di servizio ai valori che ordinariamente si osservano nella trazione tramviaria.

RIASSUNTO

I motori a campo rotante si regolano automaticamente a velocità costante. — Si può ottenere la variazione della velocità facendo cambiare la frequenza della corrente di alimentazione. — La variazione della frequenza si può ottenere anche variando il numero di poli del circuito inducente del motore che si vuol regolare, o accoppiando i motori in cascata quando due motori debbono servire a mettere in movimento il medesimo meccanismo.

CAPITOLO IV.

Motori asincroni a corrente monofase

Un campo alternato può sempre considersi come la risultante di due campi rotanti con la medesima velocità, in direzione contraria, come facilmente vedesi dalla figura 37.ª

Infatti quando i due capi rotanti *OC* ed *OD* si trovano sovrapposti dànno un campo risultante *OA* eguale alla somma algebrica dei due campi componenti. Questi, ruotando in senso inverso, come indicano le freccie *a* e *b*, mantenendo sempre la medesima velocità, ed essendo eguali in intensità, avranno la risultante che coinciderà sempre in direzione con la primitiva direzione, che rappresenta sempre la bisettrice degli angoli formati dalle due direzioni dei campi rotanti. Il valore, però, di questa risultante come grandezza andrà man mano impiccolendosi, fino ad annullarsi quando i due campi assumeranno la direzione normale alla risultante stessa, nel quale caso si troveranno in prolungamento l' uno dell' altro; per cominciare a crescere novellamente ma in direzione opposta nell' istante successivo. Si ha proprio un campo magnetico alternato che segue la legge dei seni.

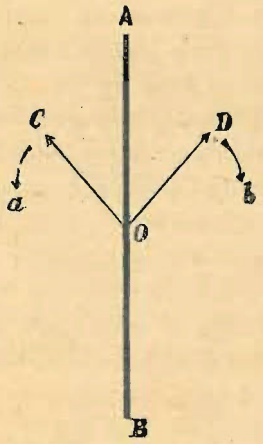


Figura 37.ª

Se noi, quindi, in un circuito inducente mandiamo una

corrente alternata otteniamo lo stesso effetto che se determinassimo due campi rotanti eguali in grandezza ma di senso inverso. E se in mezzo ad essi mettiamo un'armatura di un ordinario motore a campo Ferraris, essa si deve mantenere immobile perchè l'azione delle correnti indotte generate dal primo campo rotante è eguale e contraria a quella dell'altro campo.

Se però, con un mezzo qualsiasi, portiamo l'armatura alla velocità del sincronismo allora l'azione del campo che gira in senso inverso viene ad essere completamente eliminata e il motore seguita a girare come se fosse alimentato solo dal campo magnetico che ruota nella direzione dell'armatura e che, però, ha una grandezza metà di quella massima del campo alternato.

A misura che il carico aumenta ed il motore diminuisce di velocità comincia a risentirsi l'azione del secondo campo, che gira in senso inverso, ed allora la coppia motrice risulta come dovuta all'azione differenza dei due campi inducenti e la velocità diminuisce anch'essa proporzionalmente.

Anche questo motore, però, ha un andamento perfettamente stabile ed una velocilà che tende a mantenersi nei pressi di quella del sincronismo, però può girare anche a velocità dentro limiti abbastanza estesi discoste da essa, e per tale ragione anche esso va annoverato fra i motori detti ASINCRONI.

Quando la velocità dell'armatura supera la velocità di sincronismo anche questo motore diventa generatore inviando corrente sulla linea invece di riceverne.

Quando, invece, essa scende molto al di sotto del valore del sincronismo allora l'azione ritardatrice dell'altro campo rotante continua ad agire costantemente, facendo rallentare man mano la velocità del motore fino a farlo fermare completamente.

RIASSUNTO

Un campo alternativo può considerarsi come risultante di due campi rotanti in senso inverso con la medesima velocità ed eguali in grandezza alla metà del massimo valore del campo alternativo.— Un'armatura di un motore a campo Ferraris messa in un campo alternativo resta immobile perchè le azioni dei due campi rotanti finiscono col distruggersi. — Quest'armatura però si mantiene in movimento se si porta alla velocità del sincronismo, perchè in tal caso l'azione di uno dei due campi rotanti viene annullata. — Questo motore è un motore ansicrono perchè una volta messo in movimento può girare entro limiti abbastanza estesi con velocità diversa da quella del sincronismo, in tal caso i due campi rotanti agiscono per differenza. — Quando un motore ansicrono monofase gira ad una velocità superiore a quella del sincronismo diventa generatore di corrente come i motori a campo Ferraris.

Capitolo V.

Avviamento dei motori asincroni monofasi

Come abbiamo visto, i motori asincroni monofasi hanno l'inconveniente gravissimo di non potersi avviare nè sotto carico nè a vuoto, ma di aver bisogno di essere preventivamente portati a raggiungere la velocità del sincronismo per poter continuare a funzionare.

Questo inconveniente li renderebbe inapplicabili alla

trazione elettrica ed alle macchine utensili senza l' aggiunta di un' altro tipo di motore che complicherebbe grandemente l' impianto, specie nel primo caso, e per tale ragione tutti gli sforzi si sono volti a tentare di ovviare ad esso.

Il modo più semplice è quello della determinazione di un campo rotante che può ottenersi con un avvolgimento sussidiario e dissimmetrico rispetto al precedente, eseguito sul medesimo nucleo inducente, nel quale si fa prevenire una corrente spostata di fase rispetto a quella principale, che può ottenersi mediante la inserzione sulla linea di una opportuna resistenza induttiva o di un condensatore che determinino un ritardo o un avanzo di fase rispetto alla precedente corrente.

Su questo principio della determinazione di un campo rotante nel momento dell' avviamento sono fondati tutti i sistemi di avviamento di questi motori, nessuno dei quali però fino a questo momento ha raggiunto la perfezione che sarebbe desiderabile.

A questo uopo risponde benissimo il sistema Ferraris Arnò costituito da un TRASFOFMATORE DI FASE inserito in vicinanza del motore ed il quale deve servire solo nel momento della messa in moto potendo far ricavare da una corrente monofase una corrente polifase.

Però con tutti i sistemi non si ottiene che un avviamento quando il motore non si trova sotto carico, per la debole coppia motrice sviluppata nel momento dell' avviamento.

Nel 1900 il prof. Grassi, del R. Museo Industriale di Torino, studiando il comportamento dell' interruttore elettrolitico del Whenelt (1), inserito sulle spirali dissimme-

(1) L' interruttore Whenelt è costituito da un recipiente contenente acqua con una soluzione caustica in cui sono affacciate una lamina di piombo ed una punta di platino. Al passaggio della corrente la punta

triche di avviamento riuscì ad ottenere questo anche sotto carico, quantunque con un dispendio abbastanza forte di energia.

RIASSUNTO

I motori ansicroni monofasi per potersi generalmente applicare nelle industrie hanno bisogno di particolari dispositivi che provvedano all'avviamento senza bisogno di motori sussidiarii. — Questo avviamento è ottenuto mediante la determinazione di un campo rotante nel momento della messa in moto. — Diversi sistemi di avviamento.

CAPITOLO VI.

Motori a corrente continua adoperati come motori asincroni monofasi

Parlando dei motori eccitati in serie ed in derivazione abbiamo visto come in essi invertendo il senso della corrente di alimentazione non si inverte la rotazione dell'armatura, perchè si invertono contemporaneamente le polarità dei campi inducente ed indotto e le reazioni relative restano inalterate. Anzi a questo proposito dicemmo

---

di platino si ricopre di una guaina di idrogeno, che, aumentando la resistenza dell'elettrolito, interrompe il circuito. Appena avvenuta la interruzione sparisce la guaina di idrogeno, la resistenza riacquista il valore primitivo e la corrente ritorna a passare.

Nell'avviamento del motore asincrono monofase l'interruttore di Whenelt rappresenta la parte di un condensatore provocando nella spirale, a cui è collegato, una corrente spostata di fase rispetto a quella che attraversa il circuito principale e pe mettendo, in tal modo, la costituzione di un campo rotante.

essere necessario invertire con opportuni commutatori la corrente solo nell' uno o nell' altro dei due circuiti per ottenere la inversione del movimento che in tutte le applicazioni dei motori rappresenta una delle necessità indispensabili, sia per la specie del lavoro che si esegue, sia — sopratutto — per la sicurezza della trazione.

Se dunque i motori in serie e quelli in derivazione non presentano variazione nel senso del movimento al variare del segno della corrente di alimentazione, non vi è teoricamente alcuna difficoltà perchè essi funzionino alimentati da una corrente alternata. E poichè i motori suddetti non mutano nelle loro condizioni sia che questa inversione avvenga più rapidamente o meno, essi appartengono evidentemente alla categoria dei motori asincroni, con il vantaggio che si può con essi ottenere un avviamento anche sotto carico come per la corrente continua e una regolazione di velocità così dolce come con questa solo era sperabile ottenere.

Se ciò è vero guardando il problema teoricamente, passando alla praticità della applicazione le cose cambiano di molto.

Noi parleremo solo dei motori eccitati in serie sui quali si sono fatti esperimenti e che hanno dato risultati sufficienti.

Il primo inconveniente è quello che alla alimentazione bisogna provvedere con corrente a basso potenziale non permettendo il collettore sezionato di raggiungere un potenziale molto elevato. L'altro inconveniente dipende dal rendimento e dalle condizioni di funzionamento che risultano migliori quanto più bassa è la frequenza della corrente di alimentazione e pare che la frequenza di 15 a 30 alternative sia quella che più convenientemente sia applicabile. Per questa frequenza così bassa la illuminazione diventa impossibile a meno che non voglia sottrarsi

all' occhio la visione del foco luminoso, e non si voglia ad esso far percepire semplicemente la luce che viene riflessa sulle pareti. Ed è appunto a questo principio che si è informata la illuminazione delle vetture tramviarie sulle quali si sono fatte le esperienze di tale sistema di motori.

Le correnti di Foucault vengono ridotte al minimo laminando non solo l'armatura, ma anche i nuclei dei circuiti induttori; ma le perdite per isteresi salgono a valori rilevanti e per tale ragione non si deve superare una induzione di 6000 a 7000 unità C. G. S. nè aumentare la frequenza se non vuolsi vedere scendere, e di molto, il rendimento.

Un altro inconveniente gravissimo è lo scintillio alle spazzole che si ottiene per la forte reazione dell'armatura e per la interruzione dei circuiti altamente induttivi, e a questo si è cercato di ovviare aumentando gli interferri, riducendo il più che è possibile la reazione stessa, e adoperando delle spazzole molto resistenti.

Certo il problema della applicazione del motore in serie non è del tutto risoluto, ma esso ha fatto negli ultimi anni passi giganteschi sia per opera della casa Westinghouse che di quella Finzi, e forse in un avvenire non lontano meglio studiato potrà insieme al motore in derivazione dare un novello aspetto alla distribuzione di energia elettrica, specie per quando riguarda trazione, perchè con la corrente monofase si eviterebbero tutte le complicazioni della doppia linea aerea di servizio, e si eliminerebbe l'inconveniente della impossibilità della coesistenza della distribuzione per forza motrice e di luce, sempre però che si arrivi a far funzionare regolarmente il motore ad una frequenza superiore a quella per cui oggi regolarmente funziona, e che rende impossibili le applicazioni di illuminazione sia pubblica che privata.

RIASSUNTO

I motori a corrente continua eccitati in serie ed in derivazione, non cambiando il senso della rotazione quando si inverte il senso della corrente di alimentazione, possono funzionare come motori asincroni quando sono alimentati da una corrente alternata monofase. — Il motore in serie è l'unico che è stato provato finora come motore monofase.— Esso deve essere alimentato a basso potenziale, a bassa frequenza, deve presentare una piccola reazione di armatura e deve avere una induzione non superiore alle 6000 o 7000 unità C. G. S.

II.

Motori sincroni

Capitolo I.

Generalità sui motori sincroni

Partendo dalla considerazione che le dinamo a corrente continua e gli alternatori non differiscono che andando dal collettore verso il circuito esterno, perchè nell'interno dell'armatura la corrente che si genera è sempre alternata, si comprende senza troppo dovervi insistere sopra che se esiste la INVERTIBILITÀ per le dinamo a corrente continua deve esistere anche per quelle a corrente alternata

Se, quindi, in un ordinario alternatore manteniamo costante la eccitazione mediante una corrente continua indipendente, e nell'armatura mandiamo una corrente alternata avremo un MOTORE A CORRENTE ALTERNATA, ossia

una macchina che trasforma la energia elettrica in energia meccanica.

Questo motore, però, a somiglianza del motore asinerono monofase, non può mettersi in movimento se non viene portato alla velocità del sincronismo, e a differenza di esso non può conservare il movimento se questo viene a mancare.

Per tale ragione, a differenza dei motori che finora abbiamo esaminato ohe appartengono alla classe dei motori ASINCRONI, gli alternatori che funzionano da motori appartegono alla classe dei MOTORI SINCRONI.

La necessità di questo sincronismo dipende dalle mutue reazioni che si esercitano fra il campo magnetico costante creato dagli induttori e quello variabile determinato nell' indotto dalla corrente alternata che in esso si invia.

Consideriamo l'armatura ferma, il campo induttore eccitato ed una corrente alternata che circoli nelle spirali dell' armatura.

Supponiamo (vedi fig. 38ª) una sezione *a* della armatura innanzi ad un polo nord nell' istante in cui la corrente ha tale direzione da determinare nella faccia che guarda il polo ora considerato una polarità nord. Per effetto della repulsione che si spiega fra i due poli omonimi quella sezione sarà respinta dal polo nord e comincerà a mettersi in movimento verso destra. Ma, nell'istante successivo, la direzione della corrente in quella sezione sarà invertita, e la faccia che prima presentava una polarità positiva ne presenterà invece una negativa e sarà per conseguenza

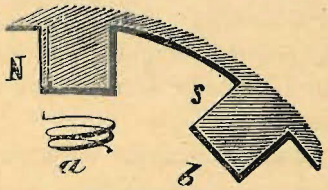


Figura 38.ª

attratta dal polo che prima l'aveva respinta e tornerà nella posizione primitiva ed il movimento non potrà, in tal modo, mai iniziarsi.

Con questi motori sincroni, quindi, seconda che l'armatura presenti una piccola od una grande inerzia, la parte mobile acquisterà un movimento oscillatorio pendolare, o resterà ferma, perchè non si sarà ancora messa in movimento sotto l'azione repulsiva quando già si sarà determinata l'azione attrattiva che l'obbliga a muoversi in senso contrario.

Quando, facendo ruotare l'armatura con un motore indipendente, facciamo ad essa raggiungere la velocità del sincronismo, ossia le facciamo compiere un numero di giri eguale al numero delle alternative della corrente, questo inconveniente viene eliminato, ed il motore può continuare a funzionare sotto l'azione della corrente alternata togliendo il motore ausiliario che è servito per metterlo in movimento.

Infatti se quella spira, che noi abbiamo considerato innanzi al polo nord nell'istante in cui aveva di rincontro ad essa la polarità nord e subiva una repulsione, cambia di polarità, per la inversione della corrente, nello istante in cui si trova innanzi al polo consecutivo, essa presenta una polarità negativa innanzi ad un polo negativo e quindi l'azione di repulsione continua e continua ancora il movimento.

Questa inversione della corrente nelle sezioni indotte, nel passaggio innanzi a due poli consecutivi, risponde proprio al fenomeno del sincronismo che noi avevamo presupposto.

Verifichiamolo per un motore ad induttore bipolare. In esso una alternativa completa della corrente si ha quando la polarità della sezione indotta nella faccia considerata ritorna ad essere positiva essendo partita da un valore

positivo; se era quindi positiva innanzi al polo nord, e diventa negativa innanzi a quello sud, e ritorna quindi ad essere positiva innanzi al primitivo polo nord, si compierà una alternativa completa della corrente di alimentazione in un giro della parte mobile, e quindi si compiranno tante alternative in un minuto per quanti giri la parte mobile.

Quello che si è detto per il motore bipolare vale anche per quello multipolare identicamente e senza nessuna restrizione.

Questa regolarità di funzionamento del motore sincrono si perde quando il motore perde la velocità del sincronismo ed esso finisce col fermarsi perchè non si ha più, come si è visto ora, la continuità dell'azione del circuito inducente sn quello indotto,

RIASSUNTO

Gli alternatori sono invertibili come le dinamo.— Inviando una corrente alternata nell' indotto di un alternatore e mantenendo costante la eccitazione si ha la trasformazione dell' energia elettrica in energia meccanica. — Un alternatore non può mettersi in movimento, nè continuare in questo se la parte mobile non è portata a fare un numero di giri eguale al numero di alternative della corrente. — Il motore sincrono che per l'aumento della coppia motrice perda la velocità del sincronismo finisce col fermarsi.

CAPITOLO II.

Diversi tipi di motori sincroni

Per quanti sono i tipi di alternatori altrettanti saranno i tipi di motori sincroni. Essi possono essere monofasi e polifasi, perchè noi non abbiamo fatta alcuna restrizione nell'arrivare alle conclusioni a cui siamo pervenuti sulla natura della corrente alternata di alimentazione.

I motori sincroni non hanno bisogno di regolatori di velocità, perchè si regolano da sè a velocità costante, non potendo superare quella del sincronismo nè scendere al di sotto, perchè, in questo secondo caso, finirebbero col fermarsi. Non si può quindi con questo tipo di motori ottenere una variazione nella velocità della parte mobile, non potendo essi funzionare a velocità diversa di quella del sincronismo.

Si potrebbe solo ottenere una variazione di velocità facendo variare la frequenza della corrente di alimentazione, ma con questo sistema bisognerebbe far variare contemporaneamente la velocità dell'alternatore che produce la corrente, disturbando per un sol motore il funzionamente di tutti gli altri, oppure si dovrebbe far variare il numero dei poli del circuito induttore del motore che si considera.

Mentre nei motori asincroni monofasi si poteva ottenere la messa in moto automaticamente mediante la determinazione di un campo rotante con uno dei dispositivi indicati nel capitolo in cui si è parlato di questi motori, per i motori sincroni non si può in nessun modo ottenere tale effetto, perchè il campo induttore è perfettamente costante come grandezza e come direzione, perchè alimentato da una corrente continua.

Per questa ragione i motori sincroni non trovano che limitata applicazione, anche perchè basta un piccolo scarto di velocità per aumento della coppia resistente per farli quasi istantaneamente fermare, non potendo essi girare che alla sola velocità del sincronismo, e rallentando man mano la velocità fino ad arrestarsi appena che essa per una causa qualsiasi comincia a diminuire.

RIASSUNTO

Esistono tanti tipi di motori sincroni per quanti sono i tipi di alternatori sia monofasi che polifasi. — I motori sincroni non hanno bisogno di speciali regolatori, perchè si regolano automaticamente a velocità costante. — Si può ottenere una variazione di velocità o facendo variare la frequenza della corrente di alimentazione o il numero dei poli del circuito induttore del motore.

FINE DEL VOLUME « MACCHINE »

1
z

INDICE

PARTE PRIMA

Macchine elettrostatiche

CAPITOLO I. — Macchine a strofinio . . . . . *Pag.* 5
Riassunto . . . . . » 11
» II. — Macchine ad influenza. . . . . » 12
Riassunto . . . . . » 18

PARTE SECONDA

Pile Idro-elettriche

CAPITOLO I. — Teoria della pila . . . . . » 19
Riassunto . . . . . » 25
» II. — Generalità delle pile idroelettriche — Accoppiamenti delle pile . . . . . » 28
Riassunto . . . . . » 37
» III. — Polarizzazione degli elementi — Depolarizzazione . . . . . » 38
Riassunto . . . . . » 54
» IV. — Pile campioni. . . . . » 55
Riassunto . . . . . » 59
» V. — Montatura e manutenzione delle pile . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 64
» VI. — Requisiti — Difetti — Scelta delle pile . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 66

PARTE TERZA

Pile termoelettriche

CAPITOLO I. — Teoria e funzionamento delle pile termoelettriche. . . . . » 67
Riassunto . . . . . » 71
» II. — Uso delle pile termoelettriche. . . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 73

PARTE QUARTA

Dinamo a corrente continua

CAPITOLO I. — Generalità sulle dinamo . . . . . » 74
Riassunto . . . . . » 89
» II. — Parti costitutive di una dinamo . . . . . » 90
Riassunto . . . . . » 95
» III. — Diversi sistemi di autoeccitazione . . . . » 96
Riassunto . . . . . » 99
» IV. — Dinamo multipolari. . . . . » 100
Riassunto . . . . . » 104
» V. — Scintillio alle spazzole. Reazione dell'armatura » 105
Riassunto . . . . . » 110
» VI. — Funzionamento della dinamo . . . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 115
» VII. — Diverse forme di induttori . . . . . » 116
Riassunto . . . . . » 122
» VIII. — Diversi tipi di armatura . . . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 129
» IX. — Regolazione delle dinamo . . . . . » 131
Riassunto . . . . . » 140
» X. — Difetti delle dinamo. Loro cause e riparazioni » 141
Riassunto . . . . . » 165
» XI. — Accoppiamento della dinamo . . . . . » 167
Riassunto . . . . . » 173
» XII. — Impianto di una dinamo. . . . . » 174
Riassunto . . . . . » 183
» XIII. — Collaudo delle dinamo — Rendimento . . . » 184
Riassunto . . . . . » 190

PARTE QUINTA

Alternatori

CAPITOLO I. — Generalità sugli alternatori. . . . . » 192
Riassunto . . . . . » 197
» II. — Diverse specie di alternatori . . . . . » 198
Riassunto . . . . . » 202
» III. — Alternatori polifasi. . . . . » 203
Riassunto . . . . . » 215

» IV. — Diverse forme di induttori . . . . . » 216
Riassunto . . . . . » 219
» V. — Diversi tipi di armature . . . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 223
» VI. — Funzionamento degli alternatori . . . . . » 224
Riassunto . . . . . » 228
» VII. — Regolazione degli alternatori . . . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 232
» VIII. Difetti – Riparazioni – Collaudo – Rendimento
Accoppiamento . . . . . » 233
Riassunto . . . . . » 238

PARTE SESTA

Trasformatori a corrente continua

I.

Accumulatori

CAPITOLO I. — Teoria degli accumulatori . . . . . » 240
Riassunto . . . . . » 246
» II. — Diversi tipi di accumulatori . . . . . » 247
Riassunto . . . . . » 253
» III. — Funzionamento degli accumulatori . . . . » 254
Riassunto . . . . . » 258
» IV. — Istallazione degli accumulatori. . . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 269
» V. — Collaudo degli accumulatori — Rendimento . » 271
Riassunto . . . . . » 274
» VI. — Calcolo di una batteria di accumulatori . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 277

II.

Trasformatori rotanti

CAPITOLO I. — Generalità sul trasformatori rotanti. . . . » 278
Riassunto . . . . . » 281

PARTE SETTIMA

Trasformatori a corrente alternata

I.

Trasformatori degli elementi della corrente

CAPITOLO I. — Generalità sui trasformatori a corrente alternata . . . . . » 282
Riassunto . . . . . » 285

CAPITOLO II. — Varie specie di trasformatori . . . . . » 286
Riassunto . . . . . » 290
» III. — Funzionamento dei trasformatori . . . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 292
» IV. — Difetti - Collaudo - Rendimento dei trasformatori a corrente alternata . . . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 295
» V. — Trasformatori polifasi . . . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 297
» VI. — Trasformatori di compensazione . . . . . » 298
Riassunto . . . . . » 299

II.

Trasformatori di forma delle correnti

CAPITOLO I. — Trasformatori rotanti e commutatrici . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 503
» II. — Rocchetto di Rhumkorff . . . . . » 304
Riassunto . . . . . » 306
» III. — Trasformatori di fase . . . . . » 307
Riassunto . . . . . » 309

PARTE OTTAVA

Motori a corrente continua

CAPITOLO I. — Generalità sui motori a corrente continua . » 310
Riassunto . . . . . » 315
» II. — Motori eccitati in serie . . . . . » 316
Riassunto . . . . . » 319
» III. — Motori eccitati in derivazione . . . . . » 320
Riassunto . . . . . » 324
» IV. — Motori ad eccitazione composta ed indipendente » 325
Riassunto . . . . . » 326
» V. — Regolazione della velocità . . . . . » 327
Riassunto . . . . . » 329
» VI. — Regolazione mediante variazione del potenziale di alimentazione . . . . . » 330
Riassunto . . . . . » 337
» VII. — Regolazione mediante variazione di flusso . » 338
Riassunto . . . . . » 341
» VIII. — Regolazione ottenuta variando il numero dei conduttori dell'armatura o dei poli induttori. » 342
Riassunto . . . . . » 343

PARTE NONA

Motori a corrente alternata

I.

Motori asincroni

CAPITOLO I. — Motori a campo rotante . . . . . » 344
Riassunto . . . . . » 349
» II. — Particolare dei motori a campo rotante . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 352
» III. — Regolazione delle velocità nei motori a campo rotante . . . . . » *ivi*
» IV. — Motori asincroni a corrente monofase . . . » 355
Riassunto . . . . . » 357
» V. — Avviamento dei motori asincroni monofasi . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 359
» VI. — Motori a corrente continua adoperati come motori asincroni monofasi . . . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 362

II.

Motori sincroni

CAPITOLO I. — Generalità sui motori sincroni. . . . . » *ivi*
Riassunto . . . . . » 365
» II. — Diversi tipi di motori sincroni. . . . . » 366
Riassunto . . . . . » 367

PRESSO LA CASA EDITRICE BIDERI

SPLENDIDISSIMA collezione di **Cartoline Musical illustrate** a colori, con disegni originali di Pietro Scoppetta e con musica delle migliori **Canzoni Napoletane**, come **Carmela, Chiarastella, Marenariello, 'O Sole mio!, Maria, Mari!, 'A Serenata d''e rrose, Don Saverio, Napule bello!** ecc. nonchè **Ballabili e Danze figurate**. Si sono pubblicate 2 Serie di 12 Cartoline di Canzoni, ciascuna Serie L. **1**. Una serie di 6 ballabili **L. 0,60.**

Pei rivenditori sconto da convenirsi a norma di ordinazioni

SERIE I - **A.**— (Illustrazione e musica) **'O Sole mio!** *di E. di Capua*— **Vieni sul mare** (Barcarola)— **Abbrile! Abbrile!** *di O. A. Giannini*—**Costantina** *di G. B. De Curtis* — **Lariulà** *di P. M. Costa* — **Signò, dicite sì!**—**'I tempe felice** — **Maculatì** *di V. Valente* — **Santa Lucia a mmare** *di G. De Gregorio* —**'O Marenariello** *di S. Gambardella*—**Fenesta che lucive**, Canzone antica napoletana attribuita al Divo Bellini — **Carmè** (lillirilli) *De Cristofaro.*

SERIE I - **B**—Tutte le poesie delle sudette canzoni con le illustrazioni relative.

SERIE I - **C** — Solo le illustrazioni.

SERIE II - **A** — **Carmela** (Canto Sorrentino) — **'A Picciotta** (Seguito a Carmela) *di G. B. De Curtis*—**Napule bello!** *di G. De Gregorio*—**Furturella** *di S. Gambardella*—**Maria, Mari!**—**Serenata d''e rrose** *di E. Di Capua*— **D. Saverio** *di V. Valente* — **Santa Lucia** (Barcarola Napoletana)—**Voglio siscà!** (Canzonetta a dispietto)—**'A Signora Luna** — **Catarì** *di P. M. Costa.*

SERIE II - **B.**—Tutte le poesie delle sudette canzoni con le illustrazioni relative

SERIE II - **C** —Solo le illustrazioni.

SERIE III. — **Dancing in the Barn** — **Skating** — **Sivigliana** (Mazurka spagnola) — **Kreuz-Polka** *di E. Lattanzio*--**Dansons, ma belle!** (Waltzer) *di V. Valente* — **Amelia** (Polka) *di A. Casella.*

Queste cartoline possiamo affermare essere le più belle, le migliori e le più utili di quante finora sono state e saranno pubblicate, in Italia ed all'Estero.

Sono le *più belle*, perchè illustrate da **Pietro Scoppetta** con finissimi acquerelli rappresentanti per lo più *costumi e scene* napoletane, e riprodotti inappuntabilmente dalla Casa Editrice Bideri.

Sono le più *utili*, perchè possono utilizzarsi in varii modi: Per spedirsi in **corrispondenza**, quali **Souvenirs** d'Italia, e di Napoli in particolare, pei **Collezionisti** e gli amatori di cartoline illustrate, per gli **Artisti** e per tutti coloro che vogliono conservare splendidi e riuscitissimi quadretti del più geniale pittore del genere, per tutti coloro, infine, che studiano o si dilettano di musica e che a buon mercato vogliono acquistare e conservare l'espressione e la manifestazione di quanto di bello abbia questa terra delle Sirene.

Collez. Maldacea, A. Castillo e Villani—*Chied. Catalogo*

Albums di danze figurate

a L. **3** ogni Serie di **10 Nuovi balli** con spiegazioni sul modo di ballarli:

1ª Serie contiene: **Dancing in the Barn, Kreuz - Polka, Pas de quatre, Lanciers, Louis XV, Skating, Marie,** (Polka) **Marzurka Russa, Minuetto Settecento.**

2ª **Andalusa, Mignon, Roman - Danse, Varsovienne, Musette, Primavera** (Polka) **Tra foglie e fiori** (Mazurka), **Dancing, Pifferata, Kreuz-Polka.**

3ª **Montenegrina, Sarabaita, Sivigliana, Madrilena, Amelia Ninon, Svégliati!,** (Waltzer), **Viens avec moi! Nell'ebbrezza, Dansons, ma belle!**

In Provincia aggiungere centesimi **60** per spese di posta.

Dello stesso Autore Ing.re GIACOMO OLIVA:

L'ELETTRICITÀ

ALLA PORTATA DI TUTTI

I Elettricità e Magnetismo.

II Macchine.

III Impianti.

Seconda edizione riveduta ed ampliata con numerose illustrazioni

L'intera opera divisa in tre parti Lire **9** — Si può acquistare ciascuna parte che forma opera a sè, separatamente, Lire **3,00**

L'Elettricista

MANUALE PEI MONTATORI

con appendice sui **Furti di corrente elettrica**

Guida pratica per gli operai apparecchiatori, corredata da un progetto completo per impianto di illuminazione da 5, 10, 16 candele, con illustrazioni.

Prezzo Lire **3,00**

Manuale di Elettricità

Consigli agli utenti di correnti elettriche per difendersi dalle Società fornitrici

Seconda edizione con numerose illustrazioni Lire **2,50**

Per le richieste dirigersi esclusivamente presso la CASA EDITRICE BIDERI — Napoli - Via S. Pietro a Majella, 17.